

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 32

MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS
POHJAVETEEN

Projektin esittely ja vuosien
1984-85 tulokset

Tiivistelmä

V E S I - J A Y M P Ä R I S T Ö H A L L I T U K S E N
M O N I S T E S A R J A

Nro 32
MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS
POHJAVETEEN

Projektin esittely ja vuosien
1984-85 tulokset

Tiivistelmä

Tiivistelmän koonnut
Maa ja Vesi Oy
18.6.1987 F21304

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa kuntatoimistosta.

ISBN 951-47-0241-7
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1987

SISÄLLYS

ESIPUHE	1
1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	3
2.1 Lähtötilanne	3
2.2 Tutkimuksen tavoitteet ja liittymät muihin tutkimuksiin	3
3. TUTKIMUSSUUNNITELMA	4
3.1 Esiselvitykset	4
3.2 Osaprojektit	4
3.3 Aikataulu	7
3.4 Raportointi	7
4. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	7
4.1 Lysimetritutkimukset	7
4.2 Alueelliset tutkimukset	9
4.3 Tutkimusalueista selvitettävät geologiset, fysikaaliset ja biologiset tekijät	12
4.4 Vesinäytteiden analysointi ja tietojenkäsittely	12
4.4.1 Määrittelykset	12
4.4.2 Tietojenkäsittely	13
5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	14
5.1 Yleistä	14
5.2 Sadeveden koostumus	15
5.3 Vajoveden koostumus	16
5.3.1 Yleistä	16
5.3.2 Lysimetrikokeiden tulokset	16
5.3.2.1 Vajoveden pH	16
5.3.2.2 Vajoveden muita ominaisuuksia	18
5.4 Pohjaveden koostumus	20
5.4.1 Yleistä	20
5.4.2 Pohjaveden koostumuksen tarkastelu	20
5.5 Lammikkoveden koostumus	26
5.5.1 Yleistä	26
5.5.2 Lammikkoveden koostumuksen tarkastelu	26
5.5.3 Lammikkoveden koostumus alueittain	27
5.5.4 Läpivirtauksen vaikutus lammikkoveden koostumukseen	29
5.5.5 Lammikkoveden ja pohjaveden vuorovaikutus	31
6. PÄÄTELMÄT	32
7. TUTKIMUKSEN SUUNTAAMINEN	33

ESIPUHE

Suomessa ei ole aikaisemmin systemaattisesti tutkittu maa-ainesten oton vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään. Ulkomailla, kuten Ruotsissa, Tanskassa ja Länsi-Saksassa, tehdyt tutkimukset on tehty osin erilaisissa kallioperä-, maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa eivätkä ne sinällään ole sovellettavissa Suomen olosuhteisiin.

Tutkimusprojekti aloitettiin vuonna 1983 kirjallisuusselvityksillä sekä maa-aineksen oton ongelmia ja vaikutuksia koskevilla esiselvityksillä. Alustava tutkimussuunnitelma laadittiin vuonna 1984.

Projektiorganisaation muodostavat vesi- ja ympäristöhallitus (VYH), Geologian tutkimuskeskus (GTK) ja tie- ja vesirakennushallitus (TVH). VYH edustaa projektissa vedenhankinnan, -suojelun ja valvonnan näkökohtia, GTK perustutkimusta ja TVH maa-aineksen käyttäjän näkökantaa myös ympäristönsuojelun kannalta.

Projektin työryhmään kuuluvat:

- tutkimuksen vastuullinen johtaja FM Tuomo Hatva (VYH)
- DI Tapani Suomela (VYH)
- MMK Heikki Penttinen (VYH)
- FL Juho Hyyppä (GTK)
- DI Erkki Matilainen (TVH)
- MMT Jyrki Wartiovaara (Maa ja Vesi Oy)

Projektisihteerinä toimii FK Birgitta Backman ja tutkijana LuK Matti Sandborg.

Työpanoksellaan ovat projektiin osallistuneet projektiorganisaation lisäksi:

- Helsingin (HEVY), Keski-Suomen (KEVY), Kokkolan (KOVY), Oulun (OYVY), Turun (TUVY) ja Vaasan (VAVY) vesi- ja ympäristöpiirit
- useat tiepiirit
- Maa ja Vesi Oy

Rahoituksellaan ovat lisäksi projektiin osallistuneet:

- ympäristöministeriö
- Maj ja Tor Nesslingin säätiö
- Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y.
- Maa-ainesalan neuvottelukunta

Raportin "Projektin esittely ja vuoden 1984-85 tulokset" ovat laatineet B. Backman, M. Sandborg ja H. Penttinen. Sen tiivistelmän ovat laatineet M. Taka ja J. Ikäheimo Maa ja Vesi Oy:stä.

Projektista on pidetty tiedotustilaisuuksia, kirjoitettu lehtiartikkeleita ja pidetty esitelmiä.

1. JOHDANTO

Maa-aineksen otto muuttaa niitä olosuhteita, jotka säätelevät veden koostumusta sateesta pohjavedeksi ja syntyvän pohjaveden määrää sekä sen liikkumista maaperässä.

Nykyisin sovellettujen ohjeiden mukaan tulee soranotossa yleensä jättää pohjavedenpinnan yläpuolelle suojakerros, jolloin ottoalueet usein ovat laajoja ja vaikuttavat suuresti myös maisemakuvaan. Suojakerroksen merkityksestä pohjaveden suojelulle ei ole selvää käsitystä. Myöskään pohjavedenpinnan alaisen maa-aineksen oton vaikutuksesta ole riittävästi tutkimustietoa.

Maa-aineksen oton ja pohjaveden hankinnan vaatimusten yhteensovittaminen edellyttää tietoa veden käyttäytymisestä maaperässä ja maa-aineksen oton vaikutuksesta siihen. Myös jälkihoidon ja suojatoimenpiteiden vaikutukset tulee selvittää. Näin luodaan edellytykset hyvälaatuisen pohjaveden jatkuvalle hankinnalle.

Näiden asioiden selvittämiseksi käynnistettiin vuonna 1983 projekti tutkimaan maa-aineksen oton vaikutusta pohjaveteen. Tutkimusmenetelmät valittiin vuosien 1983-84 esiselvitysten perusteella. Vuoden 1985 aikana tehtiin kohdealueilla maastotutkimuksia ja aloitettiin laaja näytteenotto.

Tässä raportissa esitellään projektia ja käsitellään vuoden 1985 tuloksia. Tähänastiset aikasarjat ovat lyhyitä, eikä niiden perusteella voida tehdä lopullisia päätelmiä. Eri osatutkimusten tulosten yhteensovittaminen on alkuvaiheessaan, kuten lammikoiden vaikutus pohjaveteen. Maa-aineksen oton vaikutuksen selvittäminen pohjaveden määrään edellyttää pidempiä aikasarjoja kuin nyt käytössä olevat. Alueellisten tutkimusten esimerkkikohteena ovat Haapajärven ja Tuusulan tutkimusalueet. Lisäksi on tarkasteltu pohjavesilammikoista ja lysimetreistä saatuja tutkimustuloksia.

2. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

2.1 Lähtötilanne

Maa-ainesten ottoa maassamme säännellään ensisijaisesti maa-aineslain avulla. Lupaviranomaisena toimii kunnanhallitus, jonka päätös on eräissä tapauksissa alistettava lääninhallituksen vahvistettavaksi. Ottoa koskevat rajoitukset sisältyvät pääosin MAL:n 3 §:ään. Lisäksi maa-ainesten otossa on noudatettava vesilain säädöksiä, joista tavallisimmin tulevat kyseeseen pohjaveden muuttamiskielto (VL 1:18) ja pohjaveden pilaamiskielto (VL1:22). Muuttamiskiellosta poikkeaminen on eräin rajoituksin mahdollista vesioikeuden luvalla, pilaamiskielto puolestaan on ehdoton. Vesi- ja ympäristöhallinto toimii vesilain valvontaviranomaisena sekä toisaalta maa-aineslain soveltamisen asiantuntijaviranomaisena vesiensuojeluasioissa.

Käsiteltäessä maa-ainesten ottoa koskevia hakemuksia kunnan ja lääninhallituksissa sekä vesioikeuksissa on monissa tapauksissa ollut ongelmana se, ettei ole ollut käytettävissä riittävän luotettavia tietoja maa-ainesten oton vakutuksista pohjavesiin eri olosuhteissa. Sama koskee vesioikeudellisia suoja-aluekatselmuksia. Tämä on vaikeuttanut pohjavesien suojeluvaatimusten asettamista. Vaatimukset tulisi muotoilla siten, että ne ovat pohjavesien suojelun kannalta riittävän tiukat, mutta eivät toisaalta rajoita maa-ainesten ottoa tarpeettomasti.

2.2 Tutkimuksen tavoitteet ja liittymät muihin tutkimuksiin

Tutkimuksen tavoitteena on hankkia perustietous maa-ainesten oton vaikutuksesta pohjaveden laatuun ja määrään erilaisissa olosuhteissa palvelemaan sekä pohjaveden suojelua että maa-ainesten käyttöä. Tehtyjen selvitysten perusteella tarkistetaan ja yhtenäistetään vahoja ohjeita sekä laaditaan uusia suosituksia ja ohjeita, jotka koskettelevat mm. maa-ainesten ottosuunnitelman laadintaa, ottopaikan valintaa ja ottotoimintaa (lupamääräykset), ottotoiminnan valvontaa ja ottopaikkojen jälkhoitotoimenpiteitä sekä toimenpiteitä pohjaveden suojaamiseksi.

Happamoitusmisprojektin osaprojektit "Maaperän puskurikapasiteetti ja sen riippuvuus geologisista tekijöistä" (GTK) sekä "Laskeuman epäpuhtauksien vaikutus maa- ja pohjavesiin" (VYH/VL) liittyvät osittain maa-ainesprojektiin.

3. TUTKIMUSSUUNNITELMA

3.1 Esiselvitykset

Tutkimustyö aloitettiin tutkimussuunnitelman mukaisesti vuonna 1983 esiselvityksillä. Selvitykset tehtiin kirjallisuustietojen, karttatulkintojen ja maastotutkimusten perusteella. Niistä on tehty seuraavat raportit ja julkaisut:

- Pohjaveden suojelu maa-ainesten kaivussa, TVH/Maa ja Vesi Oy, 1983
- Soranoton vaikutus pohjaveden koostumukseen aikaisempien näytteiden perusteella, GTK/B. Backman, 1983 moniste, GTK:n arkisto nro P 13:5.3.030
- Pohjaveden pinnanalaisen maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen, osa: Sorakuoppalammin vesitase, GTK/M. Sandborg, 1984
- Pohjaveden pinnanalaisen maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen, osa: Maaperän kemiasta I ja II, GTK/M. Sandborg, 1984
- Miten soranotto vaikuttaa pohjaveden laatuun, Vesipäivä 1984. GTK/Juho Hyyppä, 1984
- Maa-ainesten ottopaikkatutkimus, Ehdotus tutkimusalueiksi, SML/Maa ja Vesi Oy, 1984
- Maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen, Kenttätöohjeet, GTK/B. Backman, 1984

Tutkimuksen aikana on lisäksi tehty erillisselvityksiä kirjallisuuteen perustuen jälkihoitolysimetreistä sekä maa-ainesjuridiikasta.

Tutkimuksen puitteissa tehdään myös kahta pro gradu -työtä Osmo Seppinen: Maaperän pintaosien kemiallisista ominaisuuksista Tuusulan harjujaksolla luonnotilaisilla ja soranotto-alueilla ja Ulla-Maija Liski: Maa-ainesten oton vaikutus pohjaveteen Noormarkun kunnan Finbyn ja Harjakankaan pohjavesialueilla. Molemmat työt valmistuvat vuoden 1987 aikana.

3.2 Osaprojektit

Tutkimussuunnitelma on jaettu neljään osaprojektiin ja ne edelleen 13 alaprojektiin. Lopullinen tutkimussuunnitelma on vuonna 1987 tehtyjen tarkistusten jälkeen seuraava (ks. myös Taulukko 1):

I Pitkääaikaiset vaikutukset pohjaveden laatuun

1. Lysimetritutkimus

Selvitetään Tuusulan ja Lammin lysimetrikentille rakennetuissa 26 lysimetriissä maaperään imeytyvien sade-, maa- ja pohjavesien laatumuutoksia luonnontilaisilla alueilla ja alueilla, missä maannoskerros on poistettu. Seuranta aloitettiin keväällä 1985.

2. Lammikkotutkimus

Selvitetään veden laatumuutoksia erilaisissa pohjavesilammikoissa ja lammikoitumisen vaikutuksia pohjaveden laatuun. Seuranta aloitettiin kesällä 1984 ja sitä on tehty 35 lammikossa 20 eri alueella. Seurantaohjelma tarkistetaan vuosittain.

3. Alueellinen tutkimus

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää pohjaveden muodostumisolosuhteiden muutosten vaikutuksia pohjaveden laatuun erilaisilla ottoalueilla maan eri osissa. Seuranta aloitettiin talvella 1985 ja sitä on tehty yhteensä 41 eri alueella. Seurantaohjelma tarkistetaan vuosittain.

II Nopeat vaikutukset pohjaveden ja lammikkoveden laatuun

Selvitetään maa-ainesten oton vaikutuksesta tapahtuvia nopeita vaikutuksia pohjaveden ja lammikkoveden laatuun esimerkkialueilla tehdyn seurannan avulla. Kartoitetaan todetut muut pohjaveden laatumuutokset.

III Vaikutukset pohjaveden määrään

1. Alustavat selvitykset

Kartoitetaan pohjaveden muodostumiseen maa-aineksen ottoalueilla vaikuttavat tekijät kirjallisuuden ja alustavien kenttähavaintojen avulla

2. Kenttätutkimukset ja mallilaskelmat

Testataan teoreettisin perustein laadittu laskentamalli maa-aineksen oton vaikutusten arvioimiseksi muodostuvan pohjaveden määrään kenttähavaintojen avulla.

3. Todettujen määrämuutosten kartoitus

Kartoitetaan tiedossa olevat tapaukset, joissa maa-ainesten otto on vaikuttanut pohjaveden määrään.

Työvaihe	84	85	86	87	88	89
I PITKÄAIKAISET VAIKUTUKSET POHJAVEDEN LAATUUN						
<u>I.1 LYSIMETRITUTKIMUS</u>						
1. Seuranta						
2. Vaikutusanalyysi						
3. Uutos- ja sadevesitutkimus						
4. Radioaktiivisen laskeuman seuranta						
<u>I.2 LAMMIKKOTUTKIMUS</u>						
1. Seuranta						
-perusseuranta						
-erillisselvitykset						
2. Luokittelu						
<u>I.3 VERTAILEVA ALUETUTKIMUS</u>						
1. Seuranta						
2. Vaikutusanalyysi						
3. Uutos- ja sadevesitutkimus						
4. Radioaktiivisen laskeuman seuranta						
II NOPEAT VAIKUTUKSET POHJAVEDEN JA LAMMIKKOVEDEN LAATUUN						
1. Pintavesien kulkeutuminen pohjaveteen						
2. Pohjavedenpinnan alaisen soranoton välittömät vaikutukset						
3. Todettujen muiden laatumuutosten kartoitus						
III VAIKUTUKSET POHJAVEDEN MÄÄRÄÄN						
1. Alustavat selvitykset						
2. Kenttätutkimukset ja mallilaskelmat						
- vedenpinnat, lysimetri- ja sadehavainnot						
- mallianalyysi						
3. Todettujen määrämuutosten kartoitus						
IV POHJAVEDEN SUOJELUTEKNIikka OTTOALUEILLA						
<u>IV.1 OTTO- JA SUOJELUTEKNIikka</u>						
1. Ottotekniikka ja suojarakenteet						
2. Kierrätyspumppaus						
<u>IV.2 SUOJAKERROSPAKSUUDET</u>						
1. Merkkiainekokeet						
2. Lika-ainekokeet						
3. Muut selvitykset						
<u>IV.3 JÄLKIHOITO JA -KÄYTTÖ</u>						
1. Lysimetritutkimus						
2. Jälkikäyttötavat						

IV Pohjaveden suojelutekniikka ottoalueilla

1. Otto- ja suojelutekniikka

Selvitetään mahdollisuuksien mukaan ottotekniikan ja erilaisten suojarakenteiden vaikutus pohjaveteen jo otetuilla ja oton alaisena olevilla esimerkkialueilla. Lisäksi tutkitaan samentuneen tai muuten likaantuneen veden puhdistamista kierrätyspumppauksen avulla.

2. Suojakerrospaksuudet

Tutkitaan pohjavedenpinnan yläpuolelle oton jälkeen jätettävän suojakerroksen paksuuden merkitystä pohjaveden suojelun kannalta erilaisissa maalajeissa kenttälysimetrien avulla Tuusulassa. Suojakerrospaksuuksien merkitystä tutkitaan myös kohtien I.1, II ja IV.3 mukaisilla tutkimuksilla.

3. Jälkihoito ja -käyttö

Erilaisten jälkihoitotapojen vaikutusta pohjaveden laatuun tutkitaan 20 lysimetrin avulla Tuusulassa. Kartoitetaan ottoalueiden erilaiset jälkikäyttötavat ja niiden asettamat vaatimukset suojakerrospaksuuksille ja jälkihoidolle.

3.3 Aikataulu

Tutkimus aloitettiin v. 1983 ja se on suunniteltu päättyväksi vuoden 1988 lopulla. Eräiden osaprojektien osalta seuranta ja selvityksiä joudutaan kuitenkin jatkamaan vuoden 1988 jälkeen. Raportointi tehdään vuoden 1989 aikana.

3.4 Raportointi

Tutkimuksen tulokset julkaistaan kesällä 1987 ja vuonna 1989 ilmestyvässä loppuraportissa. Lisäksi on julkaistu ja julkaistaan useita väliraportteja ja erillisselvityksiä. Tutkimustulokset hyödynnetään nykyisiä ohjeita täydentävien ohjeiden, suositusten ja valvontakirjeiden avulla.

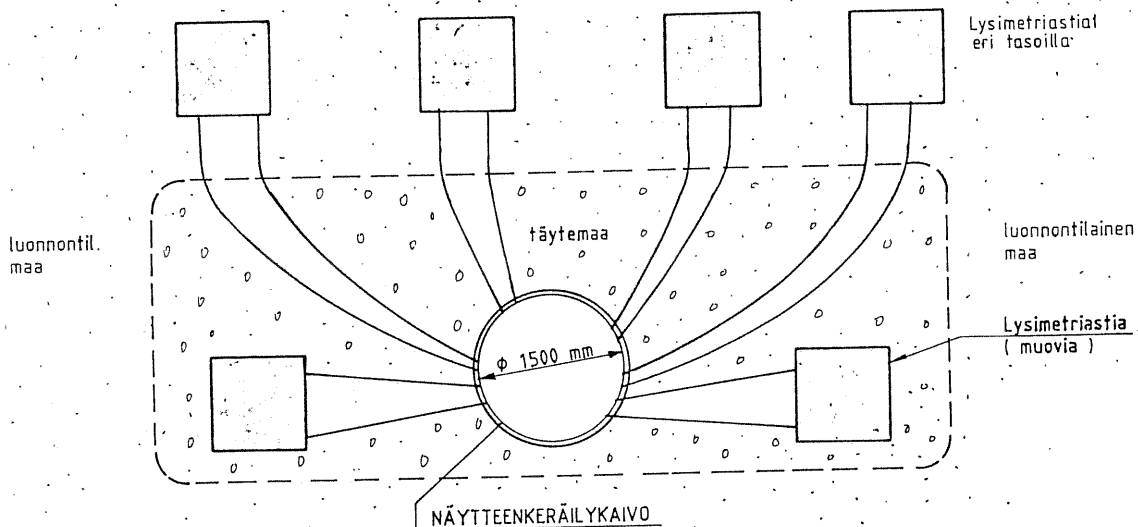
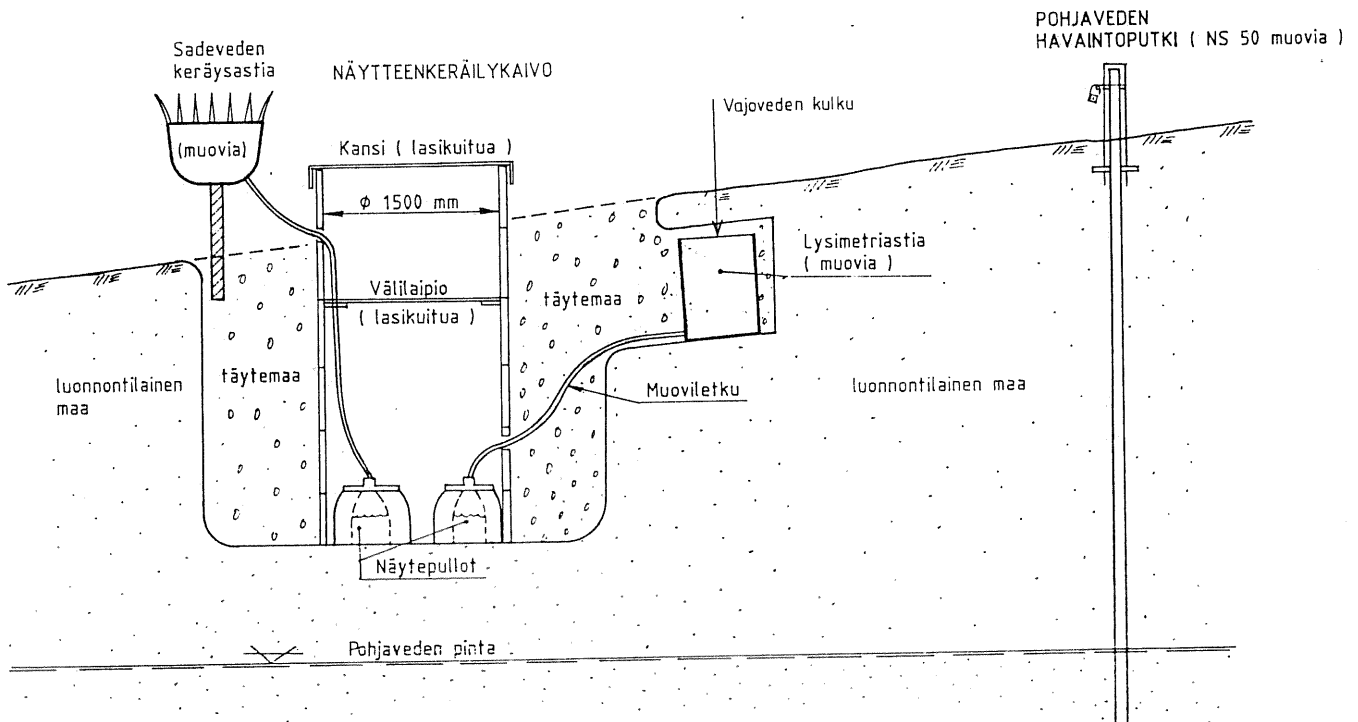
4. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Lysimetritutkimukset

Maannoskerros on biologisesti aktiivinen vyöhyke ja vajo-veden koostumus muuttuu siinä radikaalisti. Maannoskerros on tärkeä pohjaveden koostumusta säätelevä tekijä. Vastaavasti maannoskerroksen poistaminen on soranotossa tärkeä pohjaveden laadun muutokseen vaikuttava tekijä. Uuden pintarakenteen syntymistä ja jälkihoidon vaikutusta voidaan selvittää lysimetrikokein.

Tutkimusta varten kehitetyllä lysimetrilaitteistolla kerätään vajovettä maanpinnan alle asetettuun keräilyastiaan (kuva 1). Häiriintymättömään maahan kaivetaan rintaukseen kolo, johon pannaan astia, jossa on pohjalla karkeaa, alkuperäisestä aineksesta seulottua ainesta ja päällä alkupe-
räistä ainesta sinällään. Vertailua varten on lysimetrejä rakennettu myös häirittyyn maahan.

Lysimetreistä otetaan näytteet sulan maan aikana kerran viikossa. Lysimetrien tyhjennyksen yhteydessä otetaan myös vesinäyte viereisestä pohjavesiputkesta ja sateenkerääjästä. Ensimmäiset näytteet saatiin keväällä 1985. Tutkimusalueilta on otettu myös luminäytteet ja maanäytteitä.



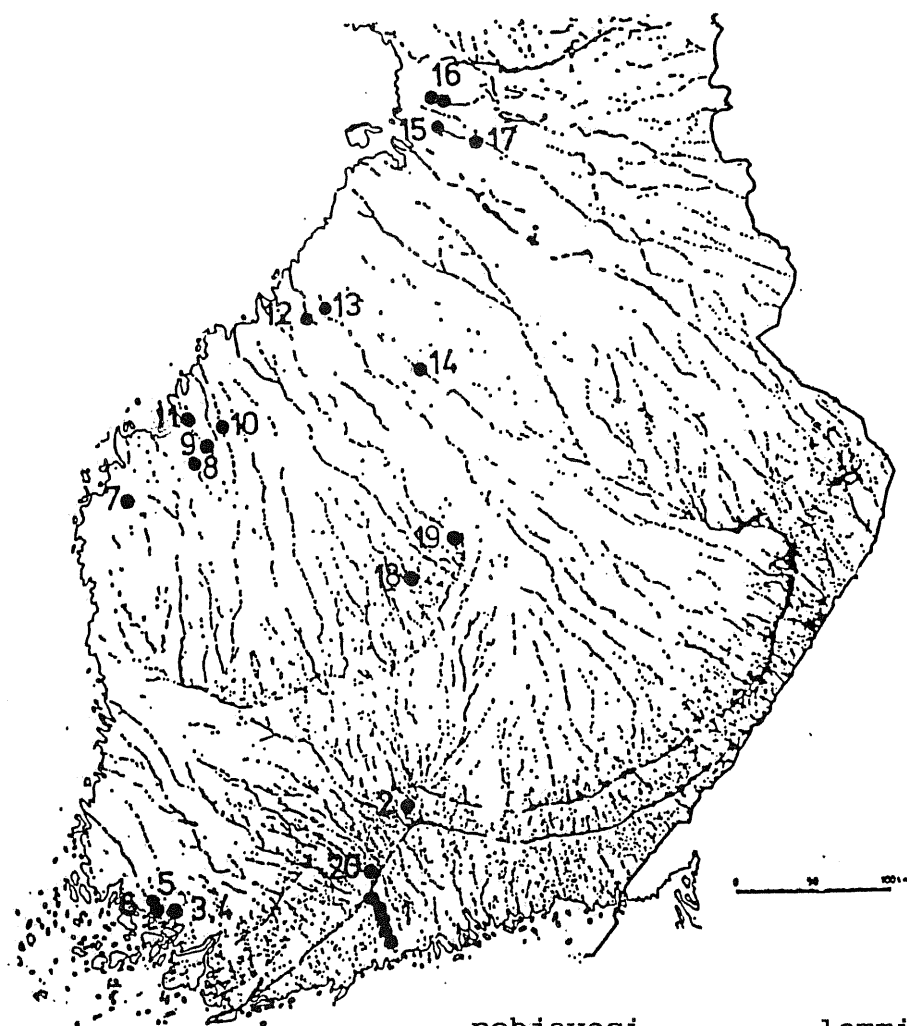
Kuva 1. Lysimetrilaitteisto

4.2 Alueelliset tutkimukset

Tutkimusalueet valittiin esiselvityksen perusteella. Alueet painottuvat vedenhankinnan ongelma-alueille, missä myös projektin tuottaman tiedon tarve on suurin. Vuoden 1985 alussa oli tutkittavana 18 harjujaksoa, jotka jakautuivat 42 tutkittavaan pohjaveden valuma-alueeseen, joissa oli yhteensä 86 pohjaveden tutkimuspistettä.

Tutkimusalueet (kuva 2) on valittu siten, että ne ovat samassa harjujaksossa eri pohjavesialueilla tai läheisillä alueilla samankaltaisissa hydrogeologisissa olosuhteissa. Niissä otto on tapahtunut tai tapahtuu eri tavoin ja eri vaiheissa ja vertailualueena on koskematon pohjavesialue (luokitus Taulukossa 2). Vertaamalla pohjaveden koostumusta alueilla, jotka ovat samankaltaisissa geologisissa ja ilmastollisissa olosuhteissa voidaan erilaisen soranoton vaikutuksia pohjaveteen tutkia. Keskenään vertailukelpoisimpia ovat läheiset alueet. Laajin ja tarkimmin tutkittava alue on Tuusulan harjujakso, josta odotetaan eniten perustietoa. Alueellisten erojen vuoksi tutkimusta on laajennettu muualle. Pohjois-Suomi on tutkimuksen ulkopuolella, koska ongelmat ovat vähäisiä. Alueet on pyritty valitsemaan niin, että niillä ei ole muita ulkopuolisia häiriötekijöitä kuin soranotto.

Näytteenotto tapahtuu eri vuodenaikoina, koska pohjaveden koostumus vaihtelee kasvillisuuden toiminnan, vajonnan määrän ja lämpötilan mukana. Normaali näytteenotto tapahtuu neljä kertaa vuodessa, mutta tärkeimmissä kohteissa useammin.



	pohjavesi- näytepaikka	lammikko- näytepaikka	yhteensä
1. Tuusulan harjujakso	15	4	19
2. Lammi, Salimäki	3	-	3
3. Paimio, Nummensuo	2	1	3
4. Paimio, Saari	2	3	5
5. Masku	1	2	3
6. Rusko	4	2	6
7. Maalahti, Kolina	3	1	4
8. Ylistaro, Kokkokangas	2	2	4
9. Alahärmä, Ekokangas	2	2	4
10. Alahärmä, Haaruskanas	3	2	5
11. Oravainen, Pensalankangas	1	3	4
12. Kannus, Hietakangas	2	1	3
13. Sievi, Hollanti	1	3	4
14. Haapajärvi, Pitkäkangas	3	-	3
15. Kiiminki, Jääli	6	3	9
16. Haukipudas, Onkamonselkä	10	4	14
17. Ylikiiminki, Puolivälinharju	3	-	3
18. Saarijärvi, Lannevesi	3	-	3
19. Sumiainen, Väliharju	2	-	2
20. Hausjärvi, Kolmilampi	-	1	1

Kuva 2. Tutkimusalueiden sijainti vuoden 1986 lopussa. Osassa tutkimusalueista ovat tutkimukset jo päättyneet. Kartta-pohjana on Suomen maaperä 1: 1 milj. harjut ja reunamuodostumat, GTK, 1984

Taulukko 2. Maa-aineksen ottotilanteen mukainen tutkimusalueiden luokitus

1	LUONNONTILAISET ALUEET
1.1	Luonnontilainen harju
2	SORANOTTOALUEET
2.1	Pintamaa on poistettu, laajamittainen soranotto ei ole vielä alkanut
2.2	Laajamittainen soranotto on käynnissä pohjavedenpinnan yläpuolella
2.3	Laajamittainen soranotto on käynnissä pohjavedenpinnan alapuolella
3	SORANOTTO PÄÄTTYNYT
3.1	Ollut aikaisemmin jonkin verran pohjavedenpinnan yläpuolista soranottoa
3.2	Ollut aikaisemmin jonkin verran pohjavedenpinnan alapuolista soranottoa
3.3	Ollut aikaisemmin laajalti pohjavedenpinnan yläpuolista soranottoa
3.4	Ollut aikaisemmin laajalti pohjavedenpinnan alapuolista soranottoa
3.5	Jälkihoidettu alue, jolta aikaisemmin on otettu soraa pohjavedenpinnan yläpuolelta
3.6	Jälkihoidettu alue, jolta aikaisemmin on otettu soraa pohjavedenpinnan alapuolelta

Tulosten lopullisessa käsittelyssä jakoa täsmennetään vertaamalla ottoalueen pinta-aloja, poistettuja määriä, pohjan etäisyyttä pohjavesipinnasta ja vertaamalla näitä pohjavesialueen kokoon ja olosuhteisiin.

Havaintoputket on asennettu pohjaveden virtaussuunnassa kaivualueen yläpuolelle, kaivualueelle ja alapuolelle. Näin voidaan tutkia kaivun aiheuttamia muutoksia pohjaveden laadulle ja pinnankorkeudelle. Yläpuolinen putki on vartailuputki, joka edustaa lähes luonnotilaisia olosuhteita.

4.3 Tutkimusalueista selvitettävät geologiset, fysikaaliset ja biologiset tekijät

Pohjaveden laatuun vaikuttavat soranoton lisäksi useat geologiset, biologiset ja fysikaaliset tekijät, joiden suhteita on pyritty selvittämään keräämällä kaikista tutkimusalueista pohjaveden laatuun todennäköisesti vaikuttavat tekijät ja arvioimaan niiden vaikutus.

Tärkeimmät geologiset tekijät, jotka tutkimuksessa selvitetään ovat muodostuman muoto, rakenne ja aines, virtausta estävät kerrostumat sekä pohjavesialtaan koko. Tutkimuksissa on käytetty maatutkaa, seismistä luotausta sekä kairauksia ja otettu maanäytteitä.

Helsingin ja Vaasan vesipiirien tutkimusalueista otettiin maanäytteet maannoksesta, soranottotasosta ja vanhasta soranottopohjasta. Näistä on määritetty raesuuruus ja taulukon 3 tähdellä merkityt analyysit tislattuun veteen sekä ammoniumasetaattiliuokseen uutetuista näytteistä.

4.4 Vesinäytteiden analysointi ja tietojenkäsittely

4.4.1 Määritykset

Pohjavesinäytteistä määritetään kentällä lämpötila, väri, sameus, pH, sähkönjohtavuus, happipitoisuus ja hiilidioksidipitoisuus ja mitataan vedenpinnan korkeus.

Laboratoriomäärityksiä on tehty yhdeksässä laboratoriossa. Taulukossa 3 on näytteistä tehtävät määritykset. Lysimetri-näytteistä ja sade- ja pohjavesinäytteistä on määritetty suppeampi määrä analyysijä, taulukossa 3 tähdellä merkityt määritykset. Lysimetrinäytteistä ei ole tehty kenttämäärityksiä.

Määritysten lukumäärä on suuri, mutta perusteltu sillä, että myös yllättäviin vaikutuksiin on varauduttava. Määritysohjelmaa voidaan tutkimuksen edistyessä pienentää.

Taulukko 3. Vesinäytteistä tehtävät määritykset.
Tähdellä* merkityt määritykset tehdään
tihennetyssä näytteenotossa, lysimetri- ja
sadevesinäytteistä

Määritys	Määritys
Vapaa hiilihappo CO_2	Fek.strept. bakt.
Liennut happi O_2	Koliform. bakt. 35°C
Alkaliniteetti*	Fek. koliform.
Väriluku	bakt. 44°C
pH	Kalsium Ca^*
Sähkönjohtavuus 25°C^*	Magnesium Mg^*
KMnO_4 -luku*	Natrium Na^*
Kokonaistyyppi N	Kalium K^*
Ammonium NH_4	Rauta Fe^*
Nitraatti NO_3^*	Mangaani Mn^*
Nitriitti NO_2	Sinkki Zn^*
Kokonaisfosfori P	Kupari Cu^*
Fosfaatti PO_4	Nikkeli Ni^*
Kloridi Cl^*	Lyijy Pb^*
Sulfaatti SO_4	Kadmium Cd^*
Piihappo SiO_2^*	Kromi Cr
Orgaaninen hiili C	Koboltti Co^*
Kiintoaine	Alumiini Al^*
Klorofylli	Radon Rn

4.4.2 Tietojenkäsittely

Tutkimuspisteet on luokiteltu taulukon 2 mukaisesti eri soranottotilanteisiin. Tämä luokitus on koko aineiston tilastollisen käsittelyn pääluokitus.

Aineisto on jaettu myös näytteenottopaikan mukaan putkiin, kaivoihin, lähteisiin ja lammikoihin. Tilastollisessa käsittelyssä on yhdistetty aineistoa vain, jos näytepaikka on sama, koska esim. havaintoputkissa on erilainen vedenlaatu kuin vedenottamon kaivossa, josta jatkuvasti pumpataan vettä useita kymmeniä kuutioita vuorokaudessa.

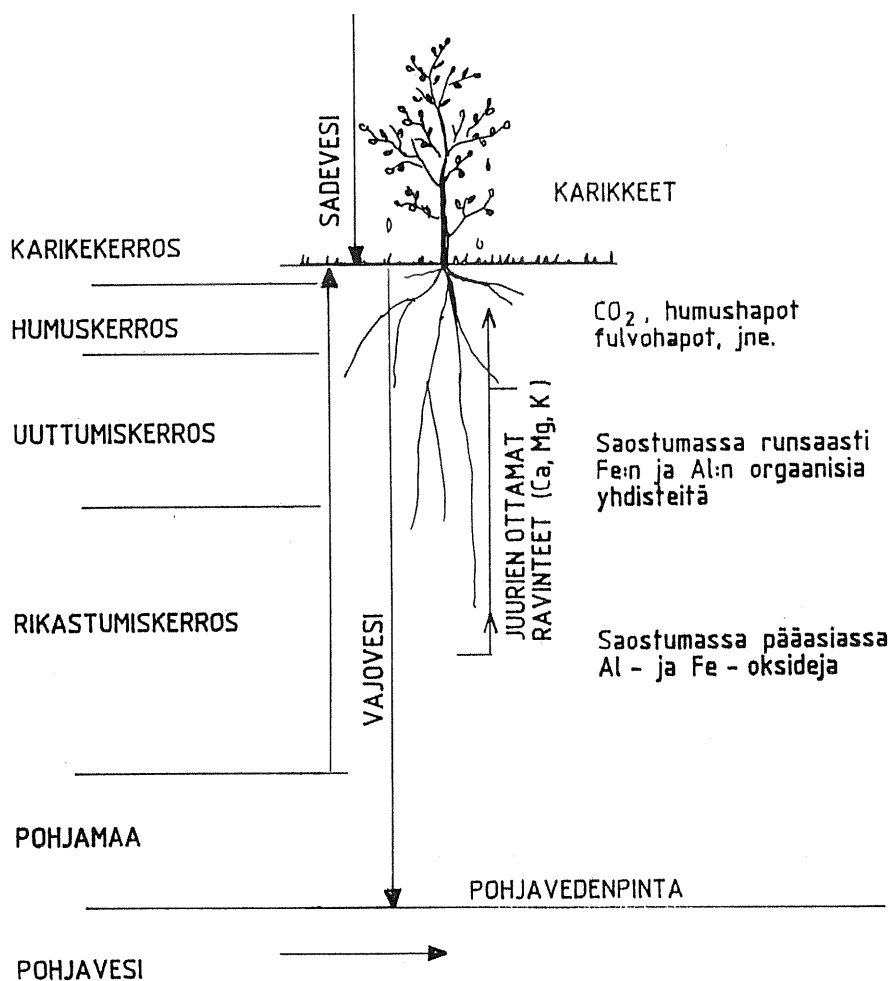
Kolmantena luokituksena on maantieteellinen jako. Tutkimusalueet sijaitsevat etelä-pohjoissuunnassa kaukana toisistaan. Sadeveden- ja kuivalaskeuman koostumuksella on niin suuri eroavuus esim. Tuusulan ja Kiimingin alueilla, että se ei oikeuta aineiston suoraan vertailuun. Geologiset olosuhteet ovat myös hyvin erilaiset: erilainen kiviaines, erilainen sedimentoituminen, erilainen raekoostumus. Tämän vuoksi aineistossa on tehty suoraan vertailuja saman vesipiirin tutkimusalueiden kesken, mutta koko aineistoa käsiteltäessä on pyritty tarkastelemaan suhteellisia muutoksia esim. anionien ja kationien ekvivalenttisuhteiden muutoksia. Eri maantieteellisten alueiden tasoeroja tarkastellaan projektin myöhemmässä vaiheessa.

Aineisto on tallennettu ja käsitelty GTK:n VAX-tietokoneella. Tallennus-, tarkistus-, käsittely- ja tulostusohjelmat ovat tehneet suunnittelijat Pentti Mannelin ja Sirkka Lojander.

5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

5.1 Yleistä

Veden kiertokulku sateesta pohjavedeksi on esitetty kuvassa 3. Pohjaveden koostumukseen vaikuttavat sadeveden koostumus, vajovedessä tapahtuvat muutokset ja pohjavesikerroksessa tapahtuvat muutokset. Vajoveden koostumus erityisesti maanoskerroksessa, vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Pohjavedessä vuodenaikaiset vaihtelut ovat pienempiä. Luonnon olosuhteissa on veden ja maaperän välille muodostunut vuodenaikaisesti vaihteleva kemiallisten ja kemiallisten reaktioiden tasapaino, jota kasvillisuuden ja ilmaston vaihtelut vain vähän muuttavat. Viime vuosikymmeninä sadeveden koostumus on muuttunut ja ihmisen toiminta mukaanluettuna maa-aineksen otto on muuttanut vanhaa tasapainotilaa.



Kuva 3. Veden kiertokulku sateesta pohjavedeksi

5.2 Sadeveden koostumus

Merkittävä osa vajo- ja pohjaveden ioneista on peräisin sadevedestä. Sadeveden koostumuksessa on suuria alueellisia eroja, jotka tulee ottaa huomioon vajo- ja pohjaveden koostumuksen tarkastelussa.

Sadeveden koostumusta seurattiin Tuusulan lysimetriasemalla. Näytteet sisälsivät myös kuivan laskeuman liuenneen osan.

Taulukko 4. Sadevesinäytteiden koostumuksen vaihtelurajat (Heinäkuu-marraskuu 1985)

pH	4,1-5,3	
sähkönjohtavuus	1,6-5,0	mS/m
KMnO ₄ -luku	5-26	mg/l
Cl	0,5-3,0	"
NO ₃	<1-3,7	"
SO ₄	2,0-10,0	"
HCO ₃	2,5-12,8	"
Ca	0,5-1,6	"
Mg	0,1-0,6	"
Na	0,5-1,6	"
K	0,05-1,1	"
SiO ₂	0,2-0,8	"
Mn	<0,02-0,16	"
Cu	4,2-19	µg/l
Zn	<20-120	"
Ni	1,1-5,0	"
Pb	0-6,5	"
Co	-	"
Cd	0,1-1,0	"
Al	18-120	"

Sadeveden koostumus vaihteli ilmeisen satunnaisesti vuodenajasta riippumatta. Sadevesi on hapanta, muuta rajua hapanta laskeumaa ei tarkastelujaksolle osunut. Sadevesi on niukka-suolaista. Anioneista runsaimmin on bikarbonaattia ja sulfaattia ja kationeista kalsiumia ja natriumia. Raskasmetallien pitoisuudet ovat pieniä; eniten on sinkkiä. Sadeveden pääkomponenttien pitoisuustaso on samaa suuruusluokkaa kuin 1970-luvulla.

5.3 Vajoveden koostumus

5.3.1 Yleistä

Vajoveden koostumukseen vaikuttavat:

- sadeveden koostumus
- evapotranspiraation aiheuttama pitoisuuksien kasvu
- maannoskerroksen (podsolikerroksen) biologisten, biokemiallisten, kemiallisten ja fysikaalisten prosessien vaikutus veden koostumukseen on hyvin suuri, reaktioiden luonne vaihtelee vuodenajan mukaan
- veden ja mineraaliaineksen väliset reaktiot
- maannoskerroksen poistaminen muuttaa vajoveden koostumusta

Tutkimuksessa on selvitetty niitä tekijöitä ja reaktioita, jotka vaikuttavat vajoveteen ja sen koostumuksen muutoksiin. Tuloksia on esitetty erillisessä raportissa.

Tutkimusta varten suunniteltiin oma lysimetrimalli. Ensimmäinen lysimetriasema asennettiin Tuusulan tutkimusalueelle talvella 1985. Myöhemmin asemia rakennettiin lisää ja kollektoreja asennettiin eri syvyyksille.

5.3.2 Lysimetrikokeiden tulokset

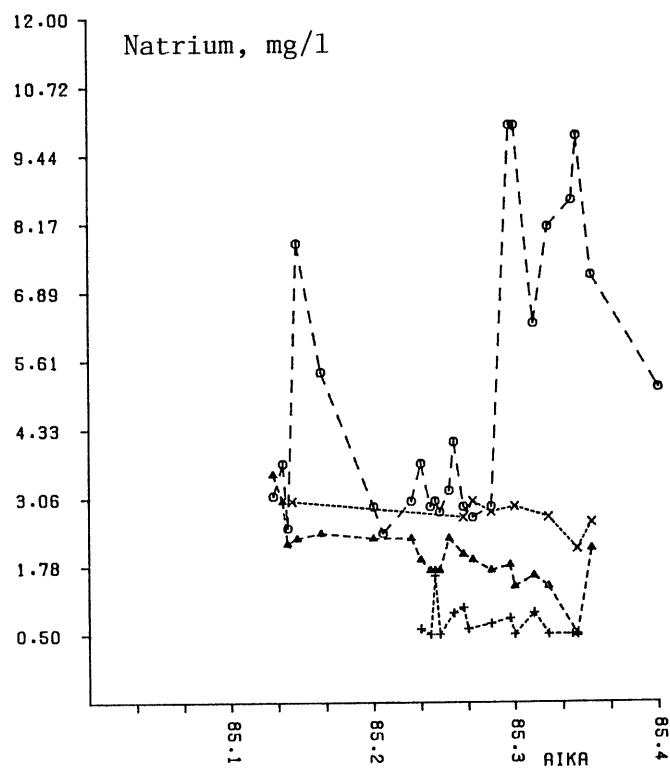
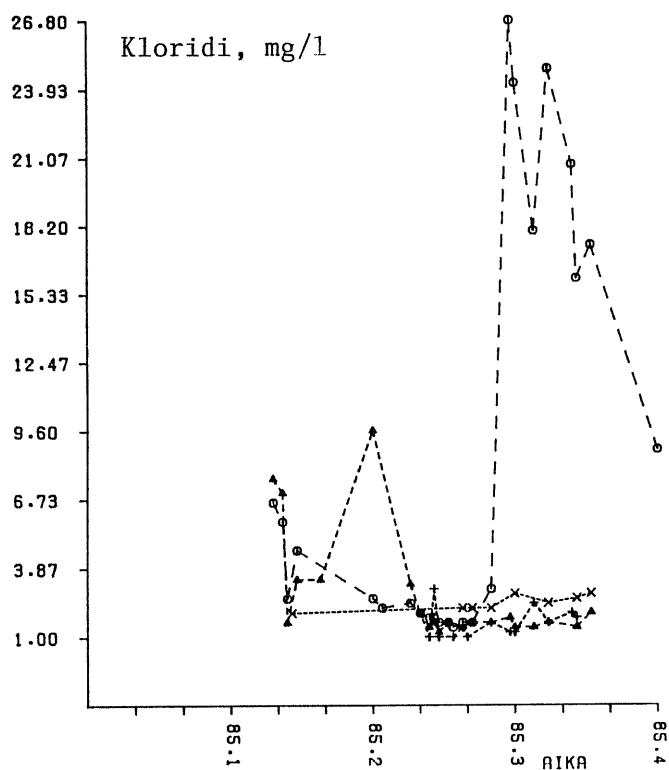
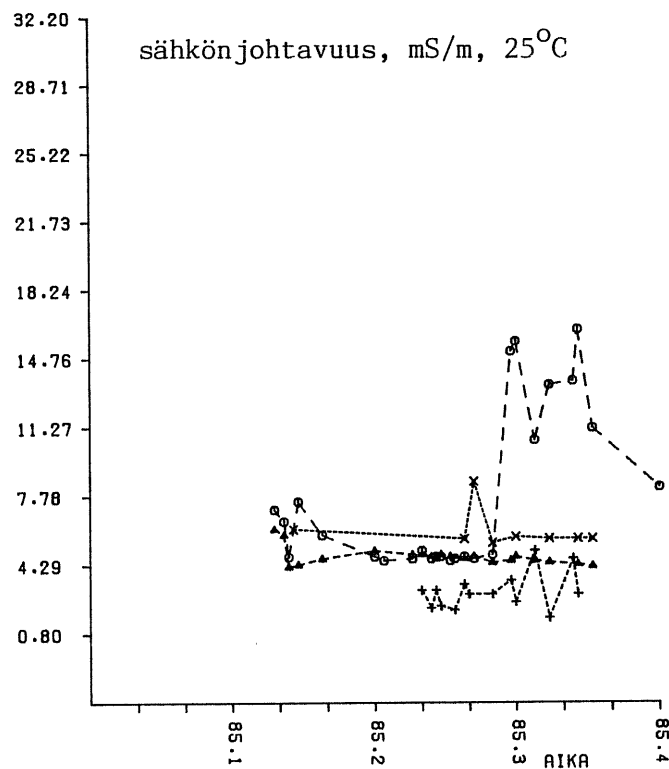
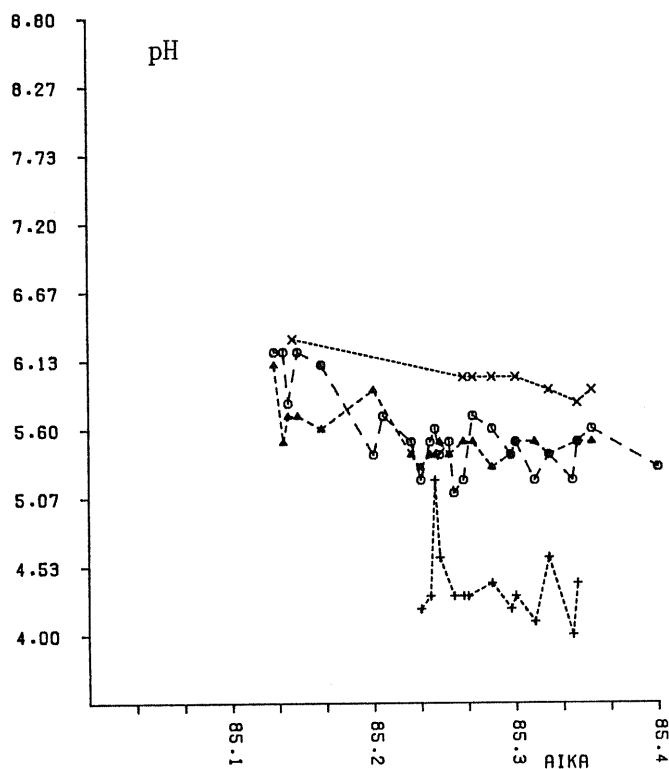
Tässä tarkasteltavat tulokset ovat Tuusulan lysimetrikentästä sen ensimmäisestä lysimetriryhmästä ajalta kevät 1985 - talvi 1985-86. Kollektorit ovat 40 cm syvyydessä, maannosprofiilin rikastumiskerroksessa. Kenttä on luonnontilaisessa maassa, josta maannoskerros on poistettu. Häiriintynyt alue on joitakin neliömetrejä, eikä sillä ole vaikutusta alueen pohjaveden koostumukseen. Lysimetrien keräämää vajovettä on verrattu alueen pohjaveteen.

Kuvassa 4 on esitetty esimerkkinä neljän ominaisuuden aikasarjat. Voimakkaat vaihtelut vajoveden koostumuksessa aiheuttavat osittain kasvien ravinnekierrosta.

5.3.2.1 Vajoveden pH

Maannoslysimetrissä (luonnontilaisen pintakerroksen alla) vajoveden pH oli korkeimmillaan keväällä lumen sulamisen aikaan. Maaperän vaihtuvien emäskationien määrä on keväällä suuri, koska talvella maan ollessa jäätyneenä, kationeja ei huuhtoudu pintakerroksista. Rauta myös lisää kationien määrää rapauttamalla mineraaliainesta veden jäätymisen yhteydessä tapahtuvasta tilavuuden kasvusta johtuen. Lumesta syntyvän veden pH-arvo nousee noin kaksi yksikköä matkalla pinnasta lysimetriin.

Kesän mittaan pH vakioitui kevääseen verrattuna alhaisemmalle tasolle. Kasvillisuus käyttää vaihtuvia ravinnekationeja ravinnokeeseen ja luovuttaa samalla vetyioneja tilalle.



- -○- - kollektori, 0,4 m maanpinnasta, maannoskerros
 ---▲--- kollektori, 0,4 m maanpinnasta, maannoskerros poistettu,
 kerros häiriintynyt
 ----+----- sadevesi
✕..... pohjavesi

Kuva 4. Tuusulan I lysimetrin vajoveden, sadeveden ja pohjaveden määritysten aikasarjoja

Kasvukauden loppuminen syyskuussa lämpötilan laskettua lähelle nollapistettä nosti vajoveden pH-tasoa jonkin verran. Tämän jälkeen pH:n vaihtelut seurasivat sateen pH:n vaihteluja lumen tuloon saakka.

Talvinäytteissä pH nousi joulukuun lopun 5,3:sta toukokuun alun 5,7:ään. Eri aineiden huuhtoutumisen pH riippuvuuksista ei ole vielä saatu selvää kuvaa muiden kuin alumiinin suhteen. Kesäaikana alumiinipitoisuus maannoslysime-trinäytteissä kasvoi, kun pH-arvo laski. Vertailulysime-trissä (kasvillisuus ja maannoskerros poistettu) vajoveden pH:n vaihtelut olivat pienemmät kuin maannoslysime-trissä. Keväällä pH oli 5,6. Kesällä ja syksyllä se oli noin 5,3 - 5,5. Talvella näytteitä ei saatu. Kevään -86 ensimmäisessä näytteessä pH:n arvo oli 5,6.

Pohjaveden pH lysimetrien lähellä olevassa havaintoputkessa oli keväällä korkeimmillaan laskien kesällä ja syksyllä. Muutokset pohjavedessä olivat saman suuntaisia kuin maannoslysime-trissä, mutta vaihtelut olivat pienempiä ja hitaampia (Kuva 4).

Edellä mainittujen tulosten mukaan sadeveden pH nousee maan pintaosassa 40 cm:n matkalla lysimetreihin yhden yksikön verran. Lysimetreistä pohjaveteen, etäisyys 19 m, pH nousee noin puoli yksikköä.

5.3.2.2 Vajoveden muita ominaisuuksia

Kevät

Maannoslysime-trissä kevään sulamisvaihe tapahtui kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa lumen sulamisen aikaan sähkönjohtavuus nousi lumeen rikastuneiden aineiden huuhtoutuessa. Tällöin huuhtoutui myös rapautumistuotteita. Suhteellisesti korkeimpia olivat HCO_3^- , Cl^- , Ca^- , NO_3^- , Mg^- ja K-pitoisuudet. Raskasmetalleista huuhtoutuivat tässä vaiheessa Pb, Cu, Ni, Zn.

Toisessa vaiheessa, roudan sulamisen jälkeen, lisääntyi erityisesti natriumin ja jossain määrin myös sulfaatin ja alumiinin osuudet.

Nitraatin huuhtoutuminen ei niinkään liity lumen sulamiseen. Typpiyhdisteiden mineraalisaatiota tapahtuu myös talvella, ja koska kasvillisuus on lepotilassa, nitraatti pääsee liikumaan vajoveden mukana.

Vertailulysime-trissä ei kuten maannoslysime-trissä sähkönjohtavuuden nousua ollut. Lysime-trin päällä oleva maa on maanoksen alapuolella ollutta, vain vähän rapautunutta perusmaata.

Kesäkausi

Kesällä huuhtoutuneiden aineiden määrissä ei tapahtunut suuria vaihteluja. Sähkönjohtavuus vakioitui kevään huippuja huomattavasti alhaisemmalle tasolle. Kasvillisuuden vaikutus näkyi erityisesti kaliumin huuhtoutumisessa. Sen määrä maannoslysimetrin vajovedessä oli pienimmillään voimakkaimman kasvukauden aikana toukokuun lopussa. Syksyä kohden määrä kasvaa hitaasti kasvien ravinnontarpeen vähetessä. Vertailulysimetrissä kaliumin määrä oli kasvukauden aikana suurempi kuin maannoslysimetrissä, koska sitä käyttävää kasvillisuutta ei lysimetrin päällä ollut. Sadevedessä kaliumia on jatkuvasti vähemmän kuin lysimetrinäytteissä, joten pääosa huuhtoumisesta on mineraalien rapautumisesta peräisin. Samoin kuin kalium käyttäytyvät myös kalsium ja magnesium.

Syyskausi

Maannoslysimetrinäytteet osoittivat, että kun lämpötila syyskussa laski lähelle 0°C , kasvillisuus lakastui ja näytteiden kaliumpermanganattiluku nousi voimakkaasti orgaanisen aineksen lisäyksen vuoksi. Lokakuun alkupuolella KMnO_4 -luku laski lyhytaikaisesti. Tämä johtui lämpimästä kaudesta, jonka aikana kasvillisuus oli toiminnassa. Marraskuun puolivälissä kaliumpermanganattiluku oli noin 16-kertainen kesän tasoon verrattuna. Lumentulon aikoihin orgaanisen aineksen huuhtoutuminen palautui kesän tasolle.

KMnO_4 -käyrän kanssa muodoltaan lähes identtiset olivat sulfaatti-, alumiini- ja kuparikäyrät. Na-, K-, Ca-, Mg-, NO_3^- , Cl- ja Ni-huuhtoutuminen oli myös erittäin voimakasta syksyllä, mutta niiden pitoisuuskäyrien muoto poikkesi edellisistä. HCO_3^- , SiO_2 -, Cd-, Mn-, Fe-, Zn- ja Pb-huuhtoutumista ei syksyllä tapahtunut.

Vertailulysimetrissä ei tätä samaa voimakasta syyshuuhtoutumista kuin maannoslysimetrinäytteissä havaittu. Vain kalsium nousi lievästi. Joidenkin aineiden pitoisuuksissa tapahtui lievää laskua ilmeisesti rapautumisintensiteetin pienetessä, lämpötilan laskiessa ja vaihteluiden pienetessä.

Edellä esitetyt vajoveden koostumuksen vaihtelut vaikuttavat pohjaveden koostumukseen. Pohjavedessä nousivat syksyllä lievästi Ca-, Mg-, HCO_3^- , SO_4 , Ni-, Cu- ja Al-pitoisuudet. Maannoslysimetrissä havaitut voimakkaat muutokset tasoittuvat maaperässä aineiden saostuessa maannoksen rikastumishorisonttiin ja sen alla olevaan perusmaahan. Aineiston tähänastisen käsittelyn perusteella sademäärän vaikutusta eri aineiden huuhtoutumiseen ei voitu todeta.

5.4 Pohjaveden koostumus

5.4.1 Yleistä

Pohjaveden koostumukseen vaikuttavat:

- vajoveden koostumus
- maaperän ja pohjaveden väliset kemialliset reaktiot, jotka riippuvat rakeisuudesta ja mineraalikoostumuksesta
- virtausnopeudesta ja viipymästä

Koska koostumukseen vaikuttavat seikat vaihtelevat paikallisesti ja alueellisesti on tutkimuksen piiriin pyritty saamaan samalta maantieteelliseltä alueelta vertailukelpoisia kohteita, joissa soranotto on tapahtunut valitun luokituksen mukaisesti. Tässä on pitkälti onnistuttu, mutta jatkotutkimukseen on jouduttu valitsemaan joitakin täydentäviä kohteita ja alueita.

Pohjavesinäytteitä kerättiin havaintoputkista, kaivoista, lähteistä ja pohjavedenottamoista.

5.4.2 Pohjaveden koostumuksen tarkastelu

Seuraavassa käsiteltävät tulokset peurustuvat pääosin Tuusulan ja Haapajärven tukkimusalueiden tuloksiin. Tuusulan harjujaksolla ja Haapajärven Pitkäkankaalla on toisiaan vastaavat tutkimusalueet: suuri soravaltainen harjumuodostuma, josta otetaan laajalta alueelta runsaasti soraa pohjavedenpinnan yläpuolelta. Molemmissa muodostumissa on myös luonnontilainen valuma-alue vertailualueena. Haapajärvellä molemmat näytteet otetaan lähteestä ja Tuusulassa näytteet otetaan pohjaveden havaintoputkista. Tuusulassa on lisäksi voitu tutkia tilannetta, jossa hajualueen pintamaa on poistettu, tai vähäinen soranotto tai laaja soranotto on päättynyt.

Vuoden 1985 tulosten perusteella laaja-alainen soranotto, joka kattaa yli kolmasosan pohjaveden muodostumisalueesta, lisää harjun pohjaveden elektrolyyttipitoisuutta, erityisesti kloridi- ja nitraattipitoisuudet kasvavat. Etelä-Suomessa oli aktiivisilla soranottoalueilla sähkönjohtavuusarvojen mediaaniarvo 2,7 kertainen verrattuna luonnontilaisten harjalueiden pohjaveteen. Pohjanmaalla oli vastaava luku 1,3 (taulukot 4 ja 5).

Päättyneen pienimuotoisen soranoton alueella ovat pohjaveden sähkönjohtavuusarvot samaa suuruusluokkaa kuin luonnontilaisilla alueilla. Päättyneen, laajan soranoton alueella ovat pohjaveden sähkönjohtavuusarvot selvästi kohonneet, ollen kuitenkin pienempiä kuin aktiivisen soranoton alueella. Soranotto muutti pohjavesiä myös lievästi happamammiksi.

Taulukon 6 korrelaatiokertoimista ilmenee yleisimpien ionien pitoisuuksien kasvavan kloridipitoisuuksien lisääntyessä. Laajan soranoton alueilla pohjavesien kyseiset kertoimet ovat paljon suurempia kuin luonnontilaisilla alueilla.

Taulukossa 7 esitetyt pH:n merkittävät korrelaatiot osoittavat, että luonnotilaisilla alueilla pohjaveden pH:n noustessa alkalien (Na, K) ja maa-alkalien (Ca, Mg) pitoisuudet lisääntyvät, mutta laajan soranoton alueilla ne vähenevät.

Taulukko 4.

Haapajärven Pitkäkankaan luonnontilaisen valuma-alueen lähteen ja soranottoalueen lähteen vedenlaatuvertailu.

	Kuivikonlähde (luonnontilainen)	Soranottoalueen lähde
	Mediaani	Mediaani
sähkönjohtavuus, mS/m	3.00	3.90
pH	6.90	6.80
O ₂ , %	88.65	101.41
CO ₂ , mg/l	4.60	4.40
lämpötila, °C	4.20	6.10
KMnO ₄ -kulutus, mg/l	4.00	4.00
NO ₃ , mg/l	0.32	1.15
Cl, "	1.10	4.80
SiO ₂ , "	12.50	12.70
SO ₄ , "	3.70	5.90
HCO ₃ , "	25.01	22.57
Kokonaiskovuus, mg/l	1.06	1.17
Ca, mg/l	5.40	5.90
Mg, "	1.30	1.50
Na, "	1.90	3.20
K, "	1.10	1.20
Fe, "	<0.05	<0.05
Mn, "	<0.02	<0.02
Zn, µg/l	<20.0	<20.0
Cu, "	<0.50	<0.50
Ni, "	<0.50	<0.50
Pb, "	<0.50	<0.50
Cd, "	<0.10	<0.10
näytteiden lkm	3	3

Laaja soranotto lisää pohjavesien happipitoisuutta. Tulokset ovat samansuuntaisia eteläisillä ja pohjoisilla tutkimusalueilla. Jo pintamaan poistaminen nostaa pohjaveden happipitoisuutta. Etelä-Suomen tutkimusalueilla ovat myös pohjaveden hiilidioksidipitoisuudet nousseet soranoton myötä.

Vuoden 1985 analyysien perusteella soranotto ei merkittävästi vaikuta pohjaveden raskasmetallipitoisuuksiin. Lähes kaikki arvot ovat määrittysrajan tuntumassa tai sen alla.

Kuvissa 5 ja 6 ja taulukossa 8 on Tuusulan ja Haapajärven tutkimusalueiden pohjavesien anioni- ja kationipitoisuudet eri soranottotilanteissa. Pohjavedenpinnan yläpuolinen soranotto nostaa anioni- ja kationipitoisuuksia. Pintamaan poistamisen jälkeen nousevat eniten nitraatti- ja magnesiumpitoisuudet. Kun soranotto on laajaa, nousevat kaikki

pitoisuudet, mutta edellisten lisäksi eniten kloridi-, sulfaatti-, kalsium- ja natriumpitoisuudet. Tilanteessa, jossa vähäinen soranotto on jo päättynyt, ovat pohjaveden kationimäärät lähes samanlaiset kuin luonnontilaisella alueella, mutta nitraattipitoisuus on selvästi korkeampi. Alueella, jossa laaja soranotto on jo päättynyt, on veden laatu lähes samanlainen kuin aktiivisella soranottoalueella.

Taulukko 5

Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueen pohjaveden havaintoputkien v. 1985 vesinäytteiden analyysitulosten mediaaniarvot soranottotilanteen mukaan luokiteltuina

	luonnon- tilainen	pintamaa poistettu	laaja otto pv-pinnan yläpuolella	vähäinen pv- yläpuol. ot- to päättynyt	laaja pv- pinnan ylä- puol. otto päättynyt
	1.0	2.1	2.2	3.1	3.3
sähkönjoht. mS/m 25°C	8.35	7.95	22.90	5.40	16.65
pH	6.40	6.30	6.35	6.00	6.60
O ₂ , % lab.	50.98	78.40	89.09	75.44	76.74
CO ₂ , mg/l	21.70	17.80	25.40	23.40	16.00
lämpötila, °C	3.85	4.50	3.90	3.40	4.10
KMnO ₄ -kul. mg/l	2.75	2.85	2.25	2.20	2.35
NO ₃ , "	1.30	3.10	8.40	2.25	5.80
Cl ₁ , "	2.40	2.30	27.20	2.50	19.20
SiO ₂ , "	14.60	15.65	13.90	13.60	13.65
SO ₄ , "	12.00	9.95	25.00	9.15	15.00
HCO ₃ , "	25.92	29.58	40.26	14.03	33.55
kokonaiskovuus, dH	1.26	1.34	3.68	0.73	2.79
Ca, mg/l	5.80	6.30	18.50	3.70	15.00
Mg, "	1.85	2.00	4.65	0.88	3.10
Na, "	3.85	3.25	12.50	3.15	7.85
K, "	1.90	1.25	2.25	0.95	1.90
Fe, "	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Mn, "	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zn, µg/l	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
Cu, "	1.70	1.35	1.75	1.55	1.25
Ni, "	1.05	0.75	1.80	0.55	<0.50
Pb, "	<0.50	<0.50	<0.50	0.60	<0.50
Cd, "	0.10	<0.10	0.10	<0.10	<0.10
näytteiden lkm	31	6	4	9	8

Taulukko 6.

Pohjaveden kloridipitoisuuden merkittävät lineaariset korrelaatiot muihin pitoisuuksiin luonnontilaisilla alueilla sekä soranottoalueilla

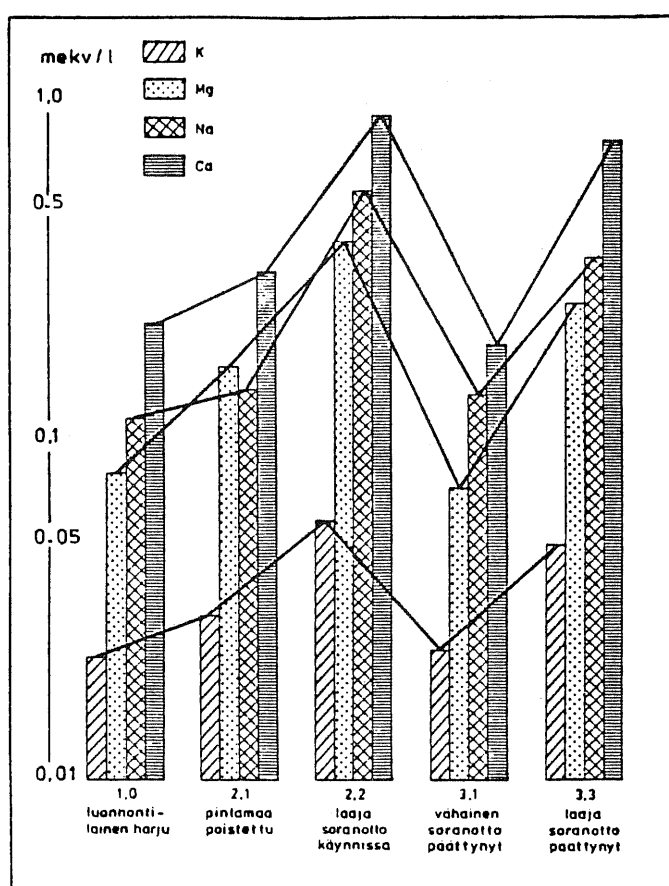
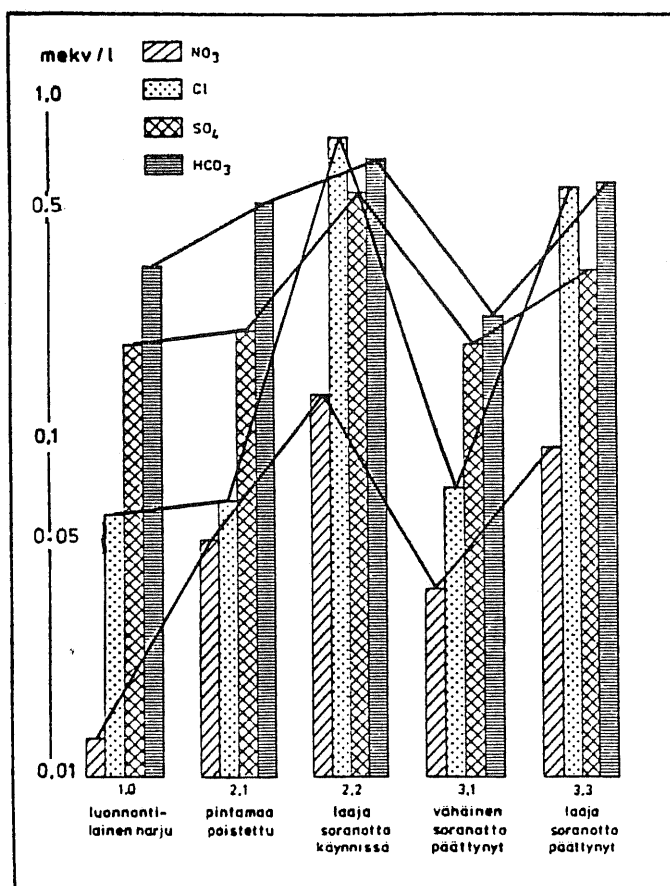
	luonnontilainen			laaja soranotto		
	arvo	P	näyte määrä	arvo	P	näyte määrä
SiO ₂	+.3912	.001	56	+.3233	.166	11
kiiftoaine	+.2811	.011	66	+.2334	.148	22
labr.sähkön- johtavuus	+.2603	.009	83	+.9550	.000	22
labr. pH	-.0956	.195	83	-.4642	.015	22
labr. O ₂	-.4138	.000	64	+.0923	.341	22
KMnO ₄	-.4046	.000	76	+.0046	.492	22
Nkok ⁴	+.2315	.032	65	+.9382	.000	22
NO ₃	+.2999	.004	79	+.8187	.000	20
PO ₄	+.2639	.015	67	+.2022	.183	22
SO ₄	+.0047	.486	58	+.8610	.000	18
alkaliniteetti	+.1904	.042	83	+.6580	.000	22
Ca	+.0126	.462	61	+.9245	.000	13
Mg	+.1159	.187	61	+.9290	.000	13
Na	+.3462	.003	61	+.9698	.000	13
K	+.2315	.036	61	+.9270	.000	13
Ni	+.0858	.255	61	+.5921	.016	13
Al suod.maton	+.4140	.009	32	+.2812	.250	8

P .05 korrelaatio merkitsevä 95 % todennäköisyydellä
P .01 korrelaatio merkitsevä 99 % todennäköisyydellä
P .001 korrelaatio merkitsevä 99,9 % todennäköisyydellä

Taulukko 7.

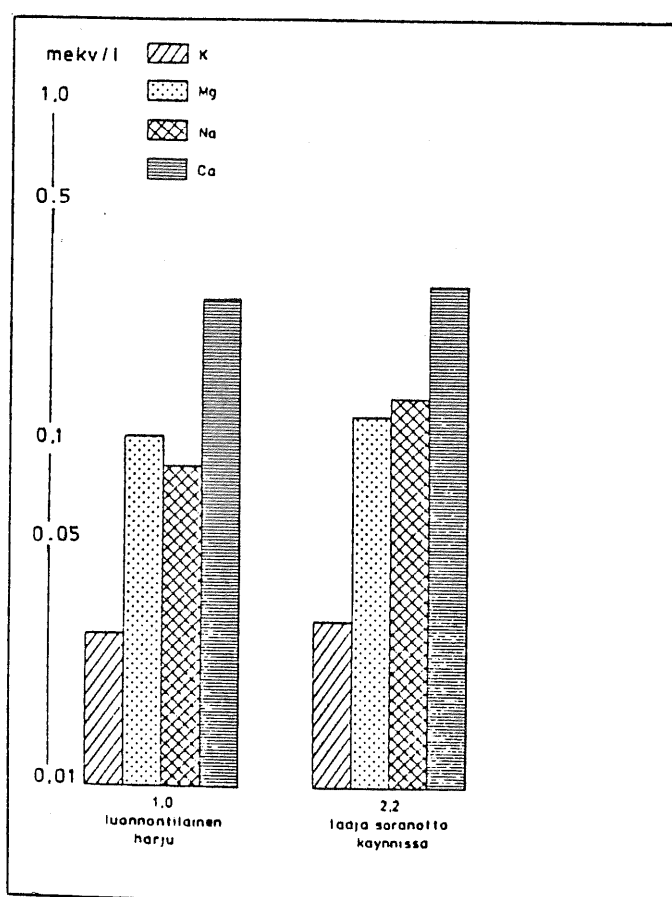
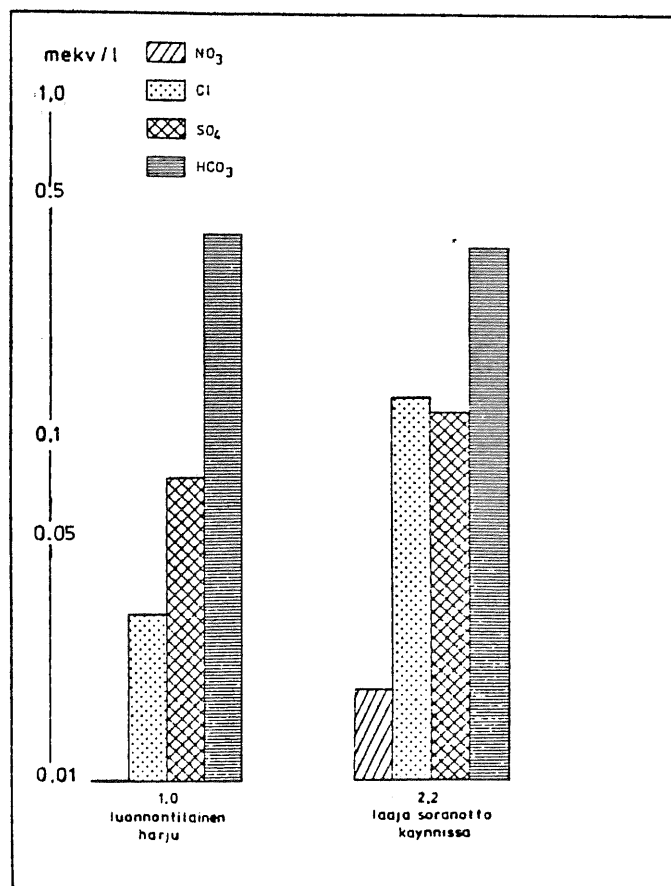
Pohjaveden pH:n (laboratoriomittaus) merkittävät lineaariset korrelaatiot muihin määritystuloksiin luonnontilaisilla alueilla sekä soranottoalueilla

	luonnontilainen			laaja soranotto		
	arvo	P	näyte määrä	arvo	P	näyte määrä
CO ₂	-.8389	.000	74	-.8293	.000	24
sameus	+.1523	.121	61	-.4779	.019	19
kiintoaine	+.0388	.372	74	-.5014	.006	24
labr.sähkön- johtavuus	+.1425	.053	130	-.5503	.003	24
labr. O ₂	+.7498	.000	64	+.6644	.000	22
KMnO ₄	-.3594	.000	123	+.1369	.262	24
Ntot ⁴	+.2328	.031	65	-.6132	.001	22
NO ₃	+.3921	.000	107	-.4825	.016	22
Cl ³	-.0956	.195	83	-.4642	.015	22
SO ₄	-.3773	.002	58	-.5691	.007	18
alkalini- teetti	+.4807	.000	130	-.6520	.000	24
Ca	+.3074	.001	95	-.8050	.000	15
Mg	+.1702	.050	95	-.8237	.000	15
Na	+.0738	.239	95	-.8125	.000	15
K	+.3900	.000	95	-.7558	.001	15
Cu	-.2132	.019	95	-.3357	.111	15



Kuva 5.

Tuusulan tutkimusalueen pohjavesien anioni- ja kationipitoisuudet eri soranottotilanteissa



Kuva 6.

Haapajärven tutkimusalueen pohjavesien anioni- ja kationipitoisuudet eri soranottotilanteissa

Taulukko 8.

Anionien ja kationien prosenttiosuudet eri soranottotilanteissa Tuusulan ja Haapajärven tutkimusalueilla. Arvot on laskettu v. 1985 näytteiden ekvivalenttipitoisuuksien mediaaneista.

	Tuusula luonnon- tilainen	laaja soran- otto käynnissä	Haapajärvi luonnon- tilainen	laaja soran- otto käynnissä
anionit				
Cl	10.6 %	36.8	5.9	20.9
SO ₄	32.2	25.5	14.7	19.0
HCO ₃	54.9	31.7	78.3	57.2
NO ₃	2.2	6.5	1.1	2.9
	100 %	100 %	100 %	100 %
kationit				
Ca	44.0 %	48.5	55.3	50.1
Mg	23.1	20.1	21.9	21.0
Na	25.4	28.6	17.0	23.7
K	7.6	3.0	5.8	5.2
	100 %	100 %	100 %	100 %

Anionien keskinäisissä suhteissa tapahtui soranoton vaikutuksesta muutoksia. Kloridi- ja nitraattipitoisuudet kasvoivat eniten ja bikarbonaattipitoisuus väheni.

Kationien suhteissa ei tapahtunut yhtä selviä muutoksia, mutta natriumpitoisuus kasvoi ja magnesium- ja kaliumpitoisuudet vähenivät.

5.5 Lammikkoveden koostumus

5.5.1 Yleistä

Tässä tarkastelussa käsitellään 20 maa-aineksen oton johdosta syntynyttä lammikkoa, joita on tarkoitus seurata koko tutkimuksen ajan. Lammikot ovat luonnotilaisiin vesistöihin verrattuna hyvin nuoria muodostumia. Nuorimmat lammikot ovat juuri syntymässä ja vanhimmatkin ovat vain muutaman kymmenen vuoden ikäisiä.

Pohjaveden vaikutus on muodostuman ydinosiin tehdyille lammikoille ominainen piirre. Koko aineiston kahdestakymmenestä lammikosta puolessa havaittiin selvä pohjaveden vaikutus ainakin pääosan vuodesta. Lammikot, joissa pohjaveden vaikutus on vähäinen, sijaitsevat usein muodostuman reuna-alueilla tai ovat edellä tarkasteltua ryhmää selvästi matalampia. Useimpia tutkimuksen lammikoista voidaan luonnehtia pikemmin lammeiksi kuin lammikoksi jo koon ja suurimman syvyyden perusteella.

5.5.2 Lammikkoveden koostumuksen tarkastelu

Tutkimuksen lammikot ovat yleiskuvaltaan sangen erilaisia, karusta kirkasvetisestä lammesta matalaan ja rehevään lammikkoon. Yhtenä joukkona tarkasteltuna lammikot ovat keskimääräisesti kirkasvetisiä, lievästi happamia, vähän pääkasviravinteita ja orgaanisia aineksia sisältäviä sekä melko vähätuottoisia.

Silti vain noin neljäsosan happitilanne on kautta vuoden hyvä. Muissa lammikoissa on hapenvajausta aina hapettomuuteen saakka. Syitä tähän voivat olla muidenmuassa pohjavesivaikutus, pieni vesitilavuus, suojaisuudesta johtuva pitkäaikainen ja pysyvä kerrostuneisuuskausi, pitkäaikainen jääpeite pienen vesitilavuuden ja suojaisuuden johdosta sekä mahdollinen muu kuin planktonin muodostama perustuotanto.

Lammikoissa raudan ja mangaanin pitoisuudet kohoavat huomattavasti happitason laskiessa. Mangaanin pitoisuus oli pintavedeksi sangen korkea. Merkittävää on, että fosforitaso ei samalla noussut. Yhtenä selityksenä saattaa olla lammikoiden iästä johtuva sedimenttien vähäisyys.

Varsinaisten raskasmetallien mitatut pitoisuudet olivat lammikkovesissä suurimmillaankin pieniä.

Vain muutamissa lammikoissa havaittiin ajoittain fekaalisten indikaattoribakteerien osoittamaa hygieenistä likaantumista, joka lienee peräisin ympäristön asutuksesta ja maataloudesta. Sen sijaan lammikoissa oli yleisesti vähän tai ajoittain huomattavasti koliformisia (35°C) indikaattoribakteereita, jotka puolestaan ovat ilmeisesti peräisin ympäristön pinta-kerroksesta. Tämä on viite lammikoiden herkkyydestä pinta-huuhtouman vaikutuksille.

Lammikoiden vedenlaadun vuodenaikaisvaihtelu on saman suuntainen kuin yleensä pintavesissä.

Useimmat lammikot ovat vähäravinteisia. Vain muutama lammikko on runsasravinteinen. Merkille pantavaa on suhteellisen alhainen typpitaso, joka johtuu pohjaveden typen vähäisyydestä. Lammikkovesien typen ja fosforin kokonais- ja liukoisten ravinteiden suhteiden suhde osoittaa, että kevätnäytteissä typpi ja fosfori olivat yhtä usein ensisijaisena minimiravinteena tai olivat sitä molemmat samanaikaisesti. Loppukesällä typpi näytti olevan minimiravinne noin kahdessa kolmasosassa lammikoista. Minimiravinnelaskelman merkitystä korostaa liukoisten ravinteiden samanaikainen niukkuus pintavedessä.

Lammikoiden kelpoisuutta eri käyttötarkoituksiin arvioitiin alustavasti vesihallinnon valmisteleminen pintavesien vedenlaadun luokitusluonnosten perusteella (Heinonen ym. 1985).

Tarkastelun mukaan pääosa lammikoista soveltuisi vain tyydyttävästi tai sitä huonommin raakavedeksi ja virkistyskäyttöön (taulukko 9).

Taulukko 9.

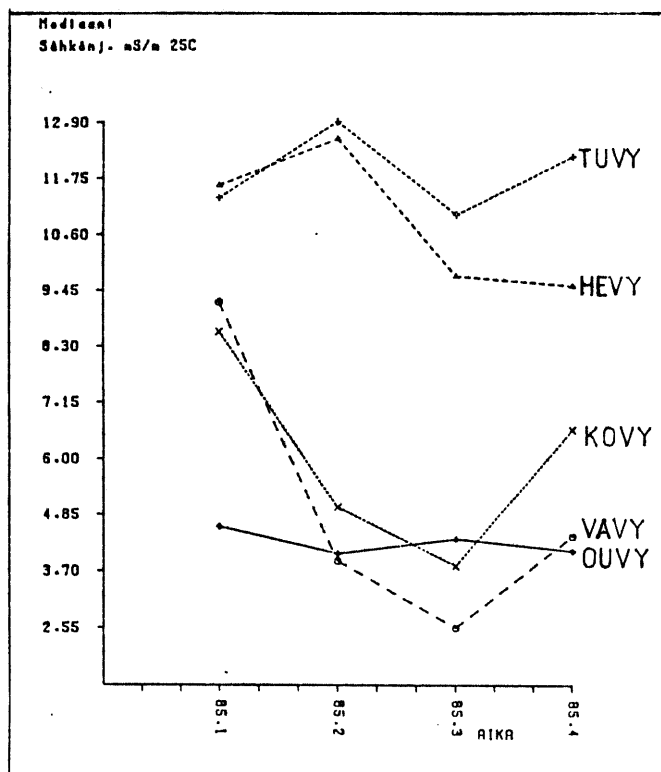
Alustava arvio lammikoiden sijoittumisesta raakavesi- ja virkistyskäyttöluokkiin v. 1985

<u>raakavesi</u>	<u>1km</u>	<u>virkistyskäyttö</u>	<u>1km</u>
erinomainen	-	erinomainen	-
hyvä	6	hyvä	5
tyyydyttävä	7	tyyydyttävä	7
huono	6	välttävä	8
sopimaton	1	huono	-
	<u>20</u>	sopimaton	-
			<u>20</u>

Vesien sopivuutta raakavedeksi huonontavat merkittävimmin huonohkot happitilanteet ja niiden seuraukset, erityisesti korkeahkot mangaanipitoisuudet. Myös virkistyskäyttöarviossa happivajaukset ja lisäksi klorofyllipitoisuudet huonontavat tulosta. Lammikoiden kelpoisuus uimavedeksi on parempi kuin edelläoleva yleinen virkistyskäyttöarvio osoittaa.

5.5.3 Lammikoveden koostumus alueittain

Tutkimusalueiden lammikoiden vedenlaatu poikkeaa toisistaan huomattavasti. Elektrolyyttien määrä eteläisten piirien (Hevy ja Tuvy) lammikoissa on selvästi suurempi kuin Pohjanmaalla (Vavy, Kovy ja Ovy). Sähkönjohtavuus (kuva 7) ja kokonaiskovuus ovat etelässä yli kaksinkertaisia pohjoisempien alueiden arvoihin verrattuna.



Kuva 7.

Lammikkoveden sähkönjohtavuuden mediaaniarvot vuoden 1985 aikana vesipiireittäin alueilla, joilla on ollut aikaisemmin laajaa pohjavedenpinnan alaista soranottoa

Yllä kuvattu Etelä- ja Lounais-Suomen ja Pohjanmaan vesien ero on näiden alueiden muittenkin pintavesien ominainen piirre.

Lammikoiden happamuuserot ovat eri alueiden välillä havaittavia, mutta eivät suuria. Lammikoiden veden pH:n mediaaniarvo on lievästi happaman puolella.

Alhaisimmat alkaliniteetin arvot esiintyvät Oulun alueella Jäälissä. Muiden alueiden arvot olivat vähintään kohtalaisia ja yleistä pintavesitasoa, koko maan painotettua keskiarvoa korkeampia.

Lammikoiden veden typpipitoisuus on alhainen erityisesti Pohjanmaalla, mutta myös Lounais-Suomen syvissä lammikoissa. Fosforipitoisuuksissa ei sensijaan erotu selviä alueellisia eroja, vaan erot johtunevat pikemmin lammikkokohtaisista ominaispiirteistä. Lammikoita, joissa ensisijaisesti tyyppi näyttää rajoittavan loppukesällä perustuotantoa, on etenkin Vaasan ja Turun alueilla. Samojen alueiden lammikoiden perustuotantoarvot ovat alhaisimmat.

Vaikka vedenlaatuluokittelun mukaisesti arvioituina aineiston sopivimmat lammikot virkistyskäyttöön ja raakavesilähteeksi sijaitsevat Turun alueella, määräävänä tekijänä ei ole maantieteellinen sijainti, vaan yksittäisen lammikon ja sen ympäristötekijöiden ominaisuudet.

5.5.4 Läpivirtauksen vaikutus lammikkoveden koostumukseen

Pohjaveden virtauksen voimakkuus, läpivirtaus, lammikossa on sen veden laatuun vaikuttava merkittävä tekijä. Lammikon sijainnilla muodostumassa ja syvyydellä on keskeinen merkitys läpivirtaukseen.

Lammikot on luokiteltu läpivirtaaviksi tai läpivirtaamattomiksi. Varsinaisen aineiston lammikoista puolet on läpivirtaavia.

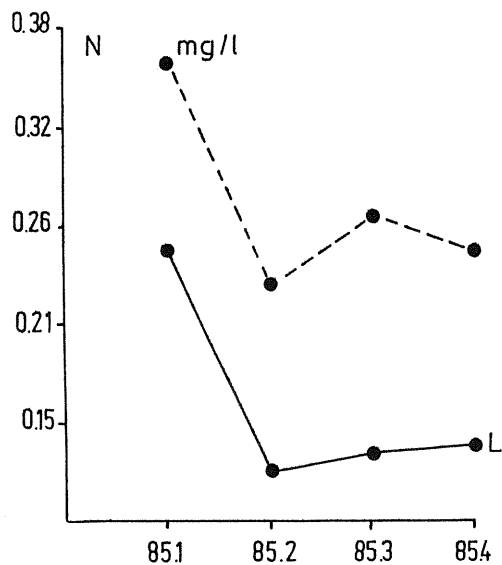
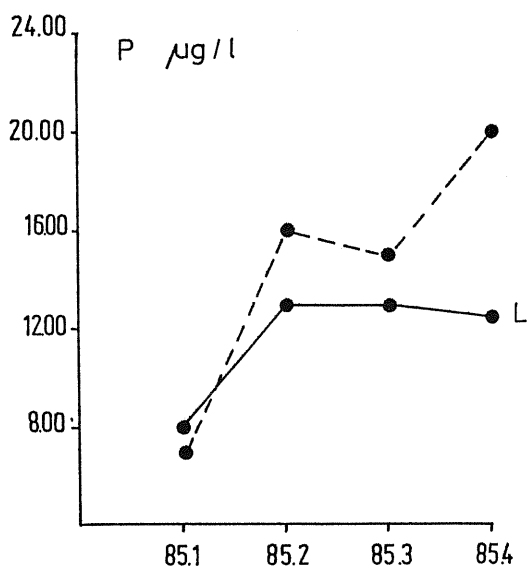
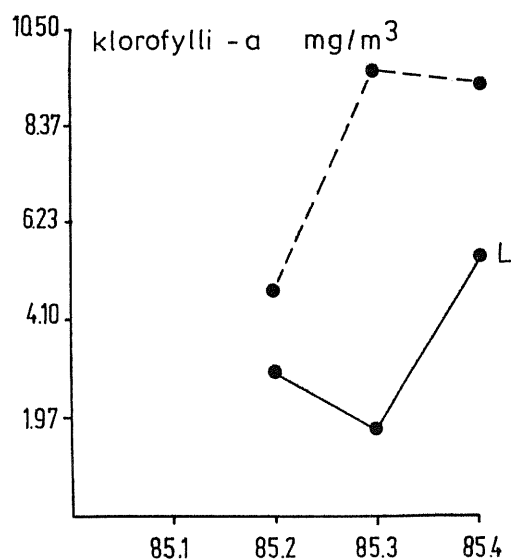
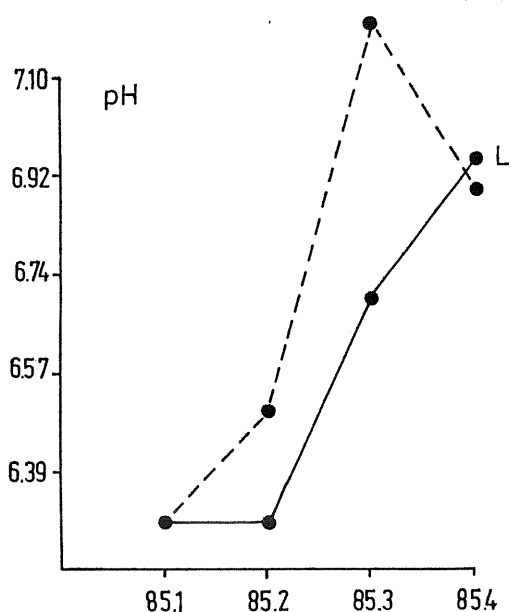
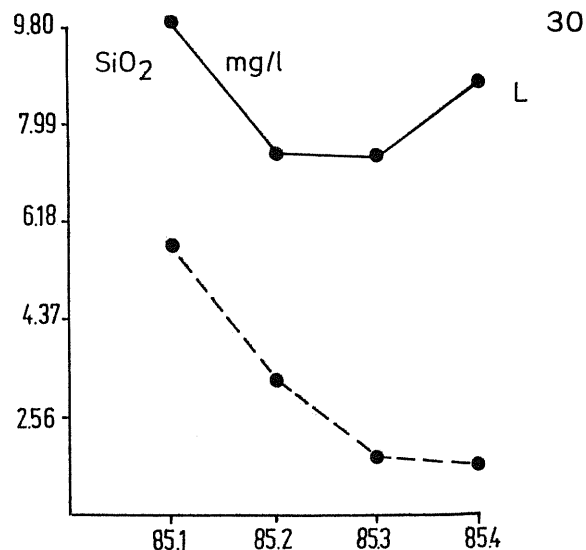
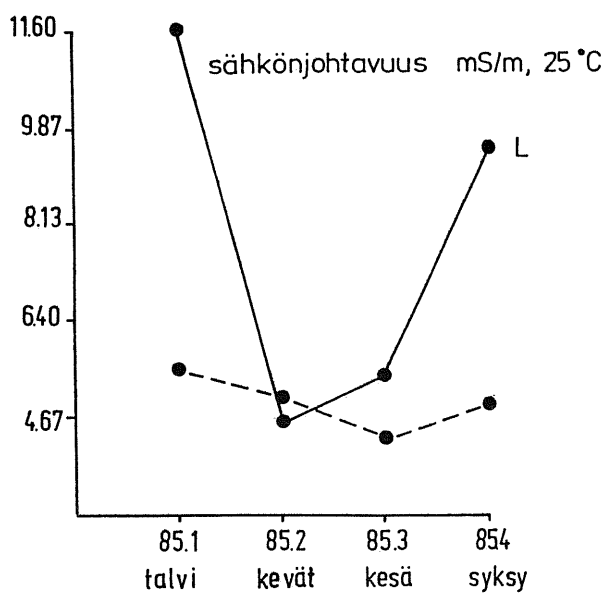
Osa läpivirtaavien ja läpivirtaamattomien lammikoiden vedenlaadun eroista selittyy syvyyseroista ja myös siihen liittyvästä lämpötilakerrostuneisuudesta. Valtaosa eroista voidaan kuitenkin lukea näiden kahden ryhmän ominaiseroiksi, joka on pohjavesivaikutuksen suuruusero. Läpivirtaamattomat lammikot ovatkin ominaisuuksiltaan lähellä tavallisia pintavesiesiintymiä.

Läpivirtauslammikoiden piihappopitoisuus, sähkönjohtavuus ja kokonaiskovuus ovat koko aineiston perusteella merkittävästi korkeampia kuin läpivirtaamattomien lammikoiden, myös alkaliniteetti on hieman suurempi.

Kokonaisfosforin pitoisuus on läpivirtaamattomissa lammikoissa vain hieman suurempi kuin läpivirtauslammikoissa. Sensijaan typpipitoisuus on kaksinkertainen, samoin orgaanisen hiilen ja korofylli-a:n pitoisuus. Ryhmien välinen rehevysero on selvä.

Läpivirtauslammikoiden veden laatu on talvella lähimpänä pohjaveden laatua muuttuen kesällä laadultaan pintaveden kaltaiseksi (kuva 8).

Läpivirtaamattomat lammikot näyttävät olevan herkempiä ympäristötekijöille (pintavaluman vaihtelut, likaantuminen) kuin läpivirtauslammikot. Tämä ja pieni vesitilavuus aiheuttavat huomattavia vaihteluita lammikon tilaan. Vaikka läpivirtaamattomat lammikot ovat ryhmänä selvästi rehevämpiä kuin läpivirtauslammikot, joukkoon kuuluu myös karuja lampia.



Kuva 8.

Läpivirtaavien (L) ja läpivirtaamattomien lammikoiden veden sähkönjohtavuuden, piihappopitoisuuden, klorofyllimäärän, pH:n, fosfori- ja typpipitoisuuden mediaaniarvot vuonna 1985

5.5.5 Lammikkoveden ja pohjaveden vuorovaikutus

Lammikoiden ja pohjaveden vuorovaikutusta käsitellään lammi-
koiden ja niiden läheisyydessä olevien vedenottamoiden ve-
denlaatua vertailemalla. Lammikoiden viereen asennetuista
putkista saatu aineisto käsitellään jatkotutkimuksessa,
samoin harjun kiviaineksen, raesuuruuden, kerrosjärjestyksen
ja pohjaveden gradientin sekä ottamoista pumpattavan vesi-
määrän merkitystä lammikon ja pohjaveden vuorovaikutuksessa.
Jatkossa pyritään myös selvittämään missä kerroksessa ja
millä nopeudella pohjavesi lammikossa liikkuu.

Harjussa, jossa soranoton aiheuttama lammikko on pohjaveden
päävirtauskentässä, on lammikolla ja muodostuman pohjavedel-
lä selvä vuorovaikutus. Läpivirtauslammikoissa ja niiden
alavirran puolella olevissa ottamoissa on veden elektrolyyt-
tipitoisuus melko korkea.

Läpivirtauslammikoiden ja ottamoiden vedenlaatu on hyvin
samanlainen. Tämä näkyy erityisesti verrattaessa ottamoiden
vedenlaatua lammikoiden pohjanäytteisiin. Avoveden aikana
lammikoiden lämpötilakerrostuneisuus ja ilmeisesti pohjalla
tapahtuva pohjaveden läpivirtaus estävät veden sekoittumisen
ja pinta- ja pohjanäyte eroavat paljon toisistaan.

Pohjaveden vaikutus läpivirtauslammikkoon näkyy lisääntyvinä
pohjaveden ominaisuuksina läheltä pohjaa otetuissa näytteis-
sä. Sähkönjohtavuusarvo, piihappo-, hiilidioksidi-,
kloridi-, sulfaatti-, bikarbonaatti-, magnesium-, kalsium-,
natrium- ja kaliumpitoisuudet nousevat. Samanaikaisesti pie-
nenevät pH ja happipitoisuus. Hapen vajoaus aiheuttaa rauta-,
mangaani-, nikkeli- ja kobolttipitoisuuden nousun.

Ottamoiden vedessä läpivirtauslammikoiden vaikutus näkyy
lämpötilan, happipitoisuuden ja pH:n nousuna sekä piihappo-,
rauta-, mangaani- ja nikkeli- pitoisuuden laskuna. Vaikutukset
voivat olla hyvin selvät, esimerkiksi Haaruskankaalla vanhan
vedenottamon veden lämpötila nousi kesällä 15,9°C:een ja
sähkönjohtavuusarvo ja piihappopitoisuus laskivat puoleen.

Lammikon sijaitessa pohjaveden päävirtauskentässä, näyttää
sen vedenlaatu pohjalla tapahtuvan virtauksen ansiosta pysy-
vän parempana kuin läpivirtaamattomissa olosuhteissa. Jos
ottamo sijaitsee lammikon vieressä, on ilmeistä, että lammi-
kon likaantuessa likaantuu myös alapuolisen ottamon vesi
lähes samanaikaisesti. Vaikka läpivirtauslammikoilla on sel-
västi havaittavia vaikutuksia ottamoiden vedenlaatuun, nii-
den merkitys veden käyttökelpoisuuteen on normaalitilassa
yleensä lievä.

Läpivirtaamattomissa lammikoissa on pinnalla ja pohjalla
oleva vesi hyvin samanlainen, lämpötila- ja kemiallista
kerrostuneisuutta ei juuri ole. Lammikoissa ei selvästi näy
pohjaveden vaikutusta. Veden ravinteisuus on suurempi kuin
läpivirtausolosuhteissa. Orgaanisen aineksen hajoaminen
aiheuttaa hapen vähenemistä pohjalta ja mangaani- ja
nikkelipitoisuudet hieman nousevat.

Tilastoaineiston perusteella ei läpivirtaamattoman lammikon vaikutus näy merkittävästi vedenottamon vedenlaadussa. Eräissä tapauksissa läpivirtaamattomankin lammikon vaikutuksen voi kuitenkin havaita lämpötilan nousuna ja sähkönjohtavuusarvojen pienenemisenä kesällä.

Läpivirtaamaton lammikko joko vaikuttaa muodostuman pohjaveen jonkin verran tai ei ollenkaan. Tämä riippuu ilmeisesti ottamon pumppauksen määrästä, raesuuruudesta sekä ottamon ja lammikon sijainnista. Näiden seikkojen selvittelyyn paneudutaan jatkotutkimuksissa.

Läpivirtausominaisuus on etu lammikon tilalle ja haitta ottamolle. Läpivirtauslammikossa lammikon tilan huononeminen likaantumistapauksissa on vähäisempää kuin läpivirtaamattomassa tai ainakin ohimenevä ilmiö. Ottamon vedenlaadun heikkenemisen riski on tällöin kuitenkin ilmeinen. Läpivirtaamattomassa lammikossa likaantumisen vaikutus näkyy vain itse lammikon tilan huononemisena.

6. PÄÄTELMÄT

Vajovesikerros

Luonnontilaisessa maannoskerroksessa veden laatu vaihtelee voimakkaasti vuodenaikojen mukaan. Veden laadun vaihtelu seuraa maannoskerroksen kasviston ja pieneliöstön toiminnan aktiivisuuden vuodenaikaisia vaihteluja ja niihin liittyviä kemiallisia ja biokemiallisia reaktioita. Maannoskerroksessa edellä esitetyillä tapahtumilla on tärkeä merkitys vajovedelle ja siitä muodostuvan pohjaveden koostumukselle. Maannoskerrokseen mm. pidättyvät monet pohjavedelle haitalliset aineet.

Kaivun yhteydessä tapahtuva maannoskerroksen poisto tasaa vajoveden laadun vuodenaikaisvaihteluja. Samalla maaperän vedenpidätyskyky ja evapotranspiraatio pienenevät lisäten imeytyvän veden määrää. Vajoveden elektrolyyttipitoisuus kuitenkin kasvaa, koska tällöin ei tapahdu ionien kiinnittymistä kasvien ravinteiksi. Maaperän puskurikapasiteetti pienenee ja eräiden lika-aineiden kulkeutuminen pohjaveeseen helpottuu.

Pohjavesikerros

Pohjaveden laadun vuodenaikaisvaihtelut ovat pieniä verrattessa niitä vajoveden vastaaviin vaihteluihin. Sitä vastoin pohjaveden laatuun vaikuttavat merkittävästi alueellinen sijainti ja geologiset tekijät. Keskimääräinen elektrolyyttipitoisuus pienenee siirryttäessä etelästä pohjoiseen ja rannikolta sisämaahan.

Laaja-alainen kaivutoiminta, joka kattaa yli kolmasosan pohjaveden muodostumisalueesta, vaikuttaa pohjaveden koostumukseen. Laaja-alaisella soranottoalueella on pohjavedessä enemmän happea ja ioneja kuin sen luonnontilaisessa ympäristössä. Erityisesti kloridin ja nitraatin suhteelliset osuudet kasvavat ja bikarbonaatin osuus pienenee. Soranottoalueiden pohjavedessä ei ole tähänastisissa tuloksissa todettu raskasmetallipitoisuuksien kohoamista luonnontilaiseen pohjaveteen nähden. Kohonneetkin ionipitoisuudet ovat pieniä verrattuna lääkintöhallituksen hyvälle talousvedelle asettamiin raja-arvoihin.

Kun kaivualue on pieni pohjaveden muodostumisalueeseen nähden, ovat muutokset veden koostumuksessa tuskin havaittavissa.

Pohjavesilammikot

Pohjavedenpinnan alaisen kaivun synnyttämien lammikoiden veden laadussa voidaan todeta samankaltaista alueellista vaihtelua kuin pohjavedessäkin. Elektrolyyttipitoisuus ja kokonaiskovuus ovat etelässä selvästi pohjoisempien alueiden arvoja korkeampia.

Lammikon sijainnista ja siitä johtuvasta pohjaveden virtausolosuhteesta riippuu lammikon vaikutus ympäröivään pohjaveteen. Läpivirtaamaton lammikko vaikuttaa pohjaveden koostumukseen vähän tai ei ollenkaan. Siinä likaantumisen vaikutus näkyy vain itse lammikon tilan huononemisena.

Läpivirtaus on etu lammikon tilalle. Vaikutus läheiselle vedenottamolle voi tulla esille mm. lämpötilan, happipitoisuuden ja pH:n nousuna sekä pihappopitoisuuden ja sähköjohtavuusarvojen laskuna. Läpivirtaavassa lammikossa on sen tilan huononeminen likaantumistapauksessa vähäisempää kuin läpivirtaamattomassa tai ainakin ohimenevä ilmiö. Läheisen ottamon veden laadun heikkenemisen riski on tällöin kuitenkin ilmeinen.

7. TUTKIMUKSEN SUUNTAAMINEN

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää maa-ainesten oton pitkäaikaiset ja nopeat vaikutukset pohjaveden koostumukseen ja määrään sekä pohjaveden suojelutekniikka ja ottoalueiden jälkihoitotoimenpiteet. Tavoitteiden saavuttamiseksi tulee tutkimusta jatkaa luvussa 3 esitetyn tutkimussuunnitelman mukaisesti.

Vajovesikerros

Jatketaan sade- ja vajoveden koostumuksen muutosten seurantaa luonnontilaisissa maannoskerroksissa ja olosuhteissa, joissa maannoskerros on poistettu. Selvitetään, miten jälkihoitotoimenpiteillä voidaan vähentää maannoskerroksen poistosta ja suojakerrospaksuuden pienenemisestä tai poistamisesta aiheutuneita haittoja.

Pohjavesi

Seurataan pohjaveden koostumukselle ja määrälle maa-ainesten ottoalueilla tapahtuvia muutoksia ja tutkitaan niiden laajuus sekä muutoksiin vaikuttavat tekijät. Arvioidaan pohjaveden koostumukselle ajanmittaan mahdollisesti tapahtuvien muutosten suunta ja niiden merkitys pohjaveden käytölle juoma- ja talousvetenä.

Pohjavesilammikot

Pohjavesilammikoiden luokitusta täsmennetään, jotta erilaisien lammikoiden vaikutus pohjaveteen voidaan selvittää ja kaivutoiminta ohjata oikein erilaisissa hydrogeologisissa ympäristöissä.

Aineiston käsittely

Tutkimuksessa syntyvät riittävän pitkät aikasarjat ja laaja aineisto käsitellään tilastomatemattisin menetelmin. Alue-tutkimustulosten summavaikutuksia tutkitaan ristiintarkastelulla ja liittämällä niihin osatutkimusten aineistoa. Näin selvitetään eri tekijöiden syy-seuraussuhteet.

